

**PATENT ABSTRACTS OF JAPAN**

(11)Publication number : 08-311603

(43)Date of publication of application : 26.11.1996

(51)Int.Cl.

C22C 38/00  
C22C 38/18  
C23C 8/32  
F16C 33/30  
F16C 33/62

(21)Application number : 07-242181

(71)Applicant : NIPPON SEIKO KK

(22)Date of filing : 20.09.1995

(72)Inventor : OKITA SHIGERU  
MITAMURA NOBUAKI  
TANAKA SUSUMU  
YAMAMURA KENJI  
OHORI MANABU

(30)Priority

Priority number : 06235493  
06326379  
07 52338

Priority date : 29.09.1994  
27.12.1994  
13.03.1995

Priority country : JP  
JP  
JP

(54) ROLLING BEARING

(57)Abstract:

**PURPOSE:** To produce a rolling bearing having high function at a low cost, as for each of a rolling body and inner and outer rings, by optimizing the material, working and heat treatment.

**CONSTITUTION:** This rolling bearing is the one in which an inner ring, an outer ring or a rolling body is formed of an alloy steel having a compsn. contg., by weight, 0.1 to 1.0% C, 0.1 to 1.5% Si, 0.1 to 1.5% Mn and 0.1 to 3.0% Cr, and in which the content of carbon in the surface subjected to carburizing treatment and the content of nitrogen in the surface are respectively regulated to 0.6 to 1.5% and 0.05 to 0.9%. The amt.  $\gamma$ R of retained austenite in the surface layer is suitable and its hardness is also sufficient, by which it has a long service life under lubrication in which foreign matter are intruded.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-311603

(43) 公開日 平成8年(1996)11月26日

| (51) Int.Cl. <sup>6</sup>     | 識別記号  | 庁内整理番号 | F I           | 技術表示箇所  |
|-------------------------------|-------|--------|---------------|---------|
| C 2 2 C 38/00                 | 3 0 1 |        | C 2 2 C 38/00 | 3 0 1 H |
| 38/18                         |       |        | 38/18         |         |
| C 2 3 C 8/32                  |       |        | C 2 3 C 8/32  |         |
| F 1 6 C 33/30                 |       |        | F 1 6 C 33/30 |         |
| 33/62                         |       |        | 33/62         |         |
| 審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 25 頁) |       |        |               |         |

(21) 出願番号 特願平7-242181

(22) 出願日 平成7年(1995)9月20日

(31) 優先権主張番号 特願平6-235493

(32) 優先日 平6(1994)9月29日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平6-326379

(32) 優先日 平6(1994)12月27日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平7-52338

(32) 優先日 平7(1995)3月13日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004204

日本精工株式会社

東京都品川区大崎1丁目6番3号

(72) 発明者 沖田 滋

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

(72) 発明者 三田村 宣晶

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

(72) 発明者 田中 進

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

(74) 代理人 弁理士 森 哲也 (外2名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 転がり軸受

(57) 【要約】

【目的】 転動体と内外輪との各々について、材料、加工および熱処理の最適化を行い、高機能であってしかも低コストの転がり軸受を提供する。

【構成】 内輪、外輪または転動体が、C : 0.1 ~ 1.0 重量%、Si : 0.1 ~ 1.5 重量%、Mn : 0.1 ~ 1.5 重量%、Cr : 0.1 ~ 3.0 重量%を含む合金鋼で形成され、浸炭処理を施した表面炭素量および表面窒素量がそれぞれC : 0.6 ~ 1.5 重量%、N : 0.05 ~ 0.9 重量%である転がり軸受とした。表面層の残留オーステナイト量  $\gamma_R$  が適量でかつ硬さも十分あり、異物混入潤滑下でも長寿命を有する。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 内輪、外輪または転動体が、  
 元素…… C : 0.1~1.0重量%  
           Si : 0.1~1.5重量%  
           Mn : 0.1~1.5重量%  
           Cr : 0.1~3.0重量%

を含む合金鋼で形成され、浸炭窒化処理を施し、その後研削加工をした後の表面層の炭素量および表面層の窒素量がそれぞれ

C : 0.6~1.5重量%  
 N : 0.05~0.9重量%

である転がり軸受。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、自動車、農業機械、建設機械等に使用される転がり軸受に係り、特に、トランスミッションやエンジン等の駆動系用として求められる長寿命な転がり軸受に関する。

## 【0002】

【従来の技術】一般に、転がり軸受の転動体（玉および各種転がり軸受用ころ。以下すべて同様）及び内外輪（内輪および外輪。以下すべて同様）の材料として、軸受鋼であればSUJ2が、肌焼鋼であればSCR420相当の鋼材が使用されている。転がり軸受は高面圧下で繰り返しせん断応力を受けて用いられるため、そのせん断応力に耐えて転がり疲労寿命を確保するべく、軸受鋼は焼入・焼戻し、肌焼鋼は浸炭又は浸炭窒化処理後に焼入・焼戻しが施されてHRC58~64の硬度とされている。

【0003】しかし、転がり軸受は使用環境が多種多用であり、疲労寿命の他に、潤滑条件等の不備や周辺機器からの異物の混入等による摩耗や早期剥離等によって軸受の寿命が大きく左右される場合があることも見逃せない。また、例えば、大きなアキシャル加重を受ける円錐ころ軸受においては転送面のすべりによる摩耗及び大つば部での純すべりによる摩耗により不具合を起こす場合があり、また、スラスト軸受、自動調心ころ軸受等の円錐ころ軸受以外の転がり軸受であっても、使用条件が厳しい場合にすべりによる摩耗が問題となることもある。そこで、疲労寿命の確保のみならず、異物混入潤滑下でも長寿命が保証され摩耗や早期剥離を防止できる、耐摩耗性が良好で且つ安価な転がり軸受が要望されている。

【0004】本願発明者らは、その要望を実現しうる転がり軸受の新規な材料について研究を重ねてきた。以下に、転がり軸受に一般的に用いられている前記軸受鋼SUJ2と肌焼鋼SCR420との両材料の得失を述べる。SUJ2は合金組成中にCとCrが多く含有されていて、製鋼時に巨大炭化物や偏析を生じやすい。これをなくすためにソーキング処理などが行われる結果、SCR420に比べて材料費は高くなる。

【0005】成形加工に関しては、小形軸受けの転動体の場合、素材はほとんど冷間線引材（コイル材）を使用し、冷間型鍛造（ヘッダ加工）により転動体の形に成形され、旋削加工は行われない。その冷間加工性を比べると、SUJ2は合金成分中のCとCrの含有比率が高いのに対して、SCR420の方はC含有比率が低いので、冷間加工性はSCR420の方が良好である。一方、内外輪の場合は、熱間（温間）鍛造により成形されるので、素材による加工性の差はあまり出ない。しかし、その後、切削加工に備えて鍛造後に軟化焼鈍が行われるのではあるが、素材の炭素量の関係でSCR420に比べてSUJ2の方が切削性が悪く、コスト高の傾向にある。

【0006】熱処理に関しては、一般的なSUJ2は焼入して焼戻しだけで軸受けに必要な硬さが得られるのに対して、SCR420は表面層に必要な硬さを得るために浸炭又は浸炭窒化焼入処理を行い、その後焼戻しを行うか、場合によっては浸炭又は浸炭窒化焼入処理を行った後さらに二次焼入して焼戻しを行う。そのためSCR420はSUJ2に比べて熱処理費が大幅に高くなる。なお、本明細書中にいう「表面層」とは、最大、表面から転がり接触時に最大せん断応力が発生する深さ（具体的には転動体直径の2%）までの領域をさすものとし、軽荷重で異物の量が多い条件下では上記範囲内で浅くすることができる。

【0007】研削加工性に関しては、SCR420の方が熱処理後の黒皮表面層（すなわち研削前の表面層）における初析セメンタイトや残留オーステナイト（以下、 $\gamma_R$ と記す）量のいかんによってはSUJ2より研削性が悪くなるが、大きな差はない。しかし、SCR420の浸炭窒化を行うと、黒皮表面層に炭窒化物が析出したりして研削性は著しく低下する。

【0008】以上の比較から、材料費と加工費を考慮した軸受の総合コストとしては、SUJ2の方がSCR420より低くなる。しかし、材料に上記の鋼材を用いて製造した転がり軸受の機能に関しては、転がり寿命ではSCR420を浸炭（又は浸炭窒化）したものは表面層の $\gamma_R$ が多く、圧縮残留応力も発生するために、特に異物混入環境下において長寿命の傾向にある。また、軸受として重要な機能である寸法安定性なども、SCR420の方がSUJ2より優れている。

## 【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の転がり軸受の材料である肌焼鋼SCR420等にあつては、①浸炭硬化層を深くしようとすると、基地の炭素量が低いため浸炭処理を高温かつ長時間行う必要があり、そのため熱処理生産性が低下する。②また、表面炭素濃度を高くすると、Cr含有量が多いために初析炭化物が生じやすく、そのため転がり疲れ寿命が低下する。

③そこでCr量を減らし、Ni、Moを添加して焼入れ

10

20

30

40

50

性を改善しようとする、材料コストが増加してしまうという問題点がある。④更に、とくに耐磨耗性が要求される場合に、Cr、Mo、V等の炭化物形成元素を多量に添加し、軸受表層に炭化物を多量に析出させる方法が知られているが、材料コストが上がるだけでなく、鍛造性、切削性、研削性等の低下による加工コスト上昇及び浸炭性低下による熱処理コストの上昇を伴い、非常に高価な転がり軸受になってしまう。

【0010】一方、軸受鋼SUJ2の場合は、コストは低く抑えられるが、特に異物混入環境下における軸受寿命が短いという問題点がある。こうした問題の対策として、本出願人は先に出願の特開平2-125841号公報において、材料コストが低く、熱処理生産性が良好で且つ長寿命の転がり軸受を提案した。このものは、軸受の転がり疲れ寿命に有害な初析炭化物を生じ易いCr量を0.35%未満とし、Cr量低下による焼入れ性低下を避けるために1.2~1.7重量%のMnを添加するとともに基地カーボン量の多い(C量0.4~0.7重量%)中炭素マンガン鋼を用いることにより初析炭化物の発生を抑制し、軸受表面層における $\gamma_R$ を25~45体積%の範囲として必要な硬化層深さを得ることにより、異物混入潤滑下での転がり軸受の長寿命化を達成せんとするものである。

【0011】詳しくは、前記特開平2-125841号でその第1図にも開示されているように、異物混入潤滑下では、表面層に $\gamma_R$ を25~45体積%存在させることにより長寿命が得られる。これを実施するため、少なくとも表面層の固溶炭素量を0.8重量%以上とすれば前記 $\gamma_R$ の範囲を保ち得ることが示されている。しかしながら、この場合、Mn量による加工性の低下、浸炭窒化したときの研削加工性の低下等の問題があり、また本来転動体と内外輪とでは要求される機能や加工条件が異なることから、なお改良の余地がある。

【0012】そこで本発明の第1の目的とするところは、上記従来技術の問題点を改良することにより、表面に $\gamma_R$ を25~45体積%形成して異物混入潤滑下でも長寿命(転がり寿命)の転がり軸受を得ることにある。また、本発明は上記第1の目的に加えて、以下のような目的をも達成せんとするものである。

【0013】すなわち、上述のように軸受の転動体、外輪、内輪は加工方法が異なっている。転動体は冷間鍛造後、研削工程(ラップ等を含む)を経て加工され、内外輪は熱間(温間)鍛造後、切削加工、研削(超仕上げを含む)の各工程を経て加工される。このような加工方法の差異に鑑み、転動体においては素材SUJ2の巨大炭素化物を消失させ、ソーキングを不要とし、冷間鍛造性(金型寿命)の向上を図る必要性があり、また内外輪においては切削加工性(工具寿命)、研削加工性(ドレッシング間隔)の向上を図る必要性があるなど、それぞれに独自の課題を有していた。換言すると、前記第1の目

的である異物混入潤滑下での長寿命を達成しつつ、なお且つ、できる限り低コストな転がり軸受を得るためには、なお改良の余地があった。

【0014】ところで、一般的には転がり軸受は内輪、外輪及び転動体に全て同一材料が使用されることが多いのであるが、耐磨耗性、耐異物性等が要求される場合にはコストを考慮して内外輪又は固定輪あるいは転動体のみに高価な材料を用いる場合もある。例えば特開昭63-303221号公報に、内外輪と転動体のうち、内外輪の少なくともいずれか一方または転動体に、0.3重量%以上のCと3重量%以上のCrを含む鋼を使用し、残りに高炭素Cr軸受鋼あるいは浸炭鋼を使用することにより長寿命な軸受を得る方法が開示されている。しかし摩耗やコストに対する考慮がなされていない。

【0015】そこで本発明は、転動体と内外輪とでは要求される機能が異なっていることに鑑み、転動体と内外輪との各々について、材料、加工および熱処理の最適化を行うことにより、従来の軸受より高機能であって異物混入潤滑下での長寿命が得られ、さらに、特に転動体と内外輪とのすべりによる摩耗が問題となるような種類の転がり軸受の場合には、耐磨耗性を備え、しかも低コストで生産できる転がり軸受を提供することを第2の目的としている。

【0016】一方、近年、自動車的高速化、軽量化、低燃費化や、鉄鋼設備のメンテナンスフリー化で軸受の使用条件が非常に過酷化している。このため、異物混入下での転がり寿命の向上に加えて、潤滑油中に混入する異物による表面損傷による剥離や、潤滑不良による磨耗等が問題になる場合がある。これに対し、特開平2-277764号に開示されているように、高クロム鋼に浸炭又は浸炭窒化を施し、軸受表層に微細炭化物を析出させ、かつ残留オーステナイト量 $\gamma_R$ を適正化することにより、異物混入潤滑下での長寿命化を図る従来例が知られているが、潤滑不良による磨耗に対する考慮が不十分であった。

【0017】そこで本発明は、異物混入潤滑下での長寿命化だけでなく、耐磨耗性にも優れた転がり軸受を安価に提供することを第3の目的としている。また、特に高速、低荷重の条件下で使用される乗用車のトランスミッション用等の転がり軸受の場合は、耐磨耗性と共に低コスト化が強く望まれており、軸受製造コストに影響の大きい材料の被削性や研削性等の加工性の良否にも配慮が必要になる。

【0018】そこで本発明は、耐磨耗性に優れ、異物混入潤滑下でも長寿命であるのみならず、加工性にも優れてコスト的に有利でかつ高速、低荷重の使用に好適な転がり軸受を安価に提供することを第4の目的としている。本発明は、以上に鑑み、異物混入潤滑下での転がり寿命を向上するとともに、必要に応じ、できるだけ低コストな、あるいは異物混入潤滑下で軸受の種類や使用条

10

20

30

40

50

件の違いに応じて耐磨耗性に優れた長寿命の転がり軸受を選択的に提供することを目的としている。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明の請求項1に係る転がり軸受は、内輪、外輪または転動体が、

元素…… C : 0.1～1.0重量%  
Si : 0.1～1.5重量%  
Mn : 0.1～1.5重量%  
Cr : 0.1～3.0重量%

を含む合金鋼で形成され、浸炭窒化処理を施し、その後研削加工をした後の表面層の炭素量および表面層の窒素量がそれぞれ

C : 0.6～1.5重量%  
N : 0.05～0.9重量%  
である転がり軸受である。

【0020】特に、上記第2の目的を達成する本発明の転がり軸受にあっては、転動体が、

元素…… C : 0.7～0.90重量%  
Si : 0.1～0.7重量%  
Mn : 0.5～1.1重量%  
Cr : 0.1～0.6重量%

を含有し残部Feおよび不可避不純物元素からなる合金鋼で形成された線材を冷間型鍛造で成形し、浸炭窒化処理してその後研削加工したものの表面層の炭素量および表面層の窒素量がそれぞれ、

C : 0.8～1.4重量%  
N : 0.05～0.3重量%  
であり、内外輪が、

元素…… C : 0.3～0.6重量%  
Si : 0.1～0.7重量%  
Mn : 0.6～1.5重量%  
Cr : 0.1～0.6重量%

を含有し残部Feおよび不可避不純物元素からなる合金鋼で形成され、旋削加工後に浸炭窒化処理してその後研削加工されたものの表面層の炭素量および表面層の窒素量がそれぞれ、

C : 0.8～1.4重量%  
N : 0.05～0.3重量%

であり、そして、これらの内外輪と転動体とを組み合わせる転がり軸受である。

【0021】また、同じく第2の目的を達成する本発明のうち、特に転動体と内外輪とのすべりによる摩耗への対策を必要とする転がり軸受に関する発明に係る転がり軸受にあっては、内輪、外輪及び転動体からなる転がり軸受において、当該転動体は、

元素…… C : 0.7～0.9重量%  
Si : 0.1～0.7重量%  
Mn : 0.5～1.1重量%  
Cr : 0.1～0.6重量%

を含有し残部Feおよび不可避不純物元素からなる合金

鋼を材料に用いて形成された線材を冷間型鍛造で成形し、浸炭窒化処理してその後研削加工したものの表面層の炭素量および表面層の窒素量がそれぞれ、

C : 0.8～1.4重量%  
N : 0.05～0.3重量%

であり、内輪及び／または外輪には、前記転動体の合金鋼よりもCr含有量が0.2～2.0重量%多い合金鋼または浸炭鋼を材料に用い硬化熱処理を施したことを特徴とする。

10 【0022】さらに、特に、上記第3の目的を達成する本発明の転がり軸受は、内輪、外輪および転動体の少なくとも一つが、

C : 0.1～1.0重量%  
Si : 0.1～1.5重量%  
Mn : 0.1～1.5重量%  
Cr : 0.5～3.0重量%  
Mo : 3.0重量%以下  
V : 2.0重量%以下  
Ni : 2.0重量%以下

20 を含有し残部Feおよび不可避不純物元素からなる合金鋼で形成され、浸炭窒化処理を施した表面層の炭素量および表面層の窒素量がそれぞれ

C : 0.8～1.5重量%  
N : 0.3～0.7重量%

であることを特徴とするものである。

【0023】上記第3の目的を達成する本発明の転がり軸受では、異物混入潤滑の条件のうち、特に製鉄用など（比較的低速で）高荷重の条件まで耐磨耗性を得ることができるものである。これに対し、特に高速、低荷重の条件下で使用される乗用車のトランスミッション等用の転がり軸受で耐磨耗性と低コストを両立させる本発明の第4の目的を達成する転がり軸受は、内輪、外輪および転動体の少なくとも一つが、

C : 0.3～0.9重量%  
Si : 0.1～0.7重量%  
Mn : 0.5～1.5重量%  
Cr : 0.1～0.8重量%

を含有し残部Feおよび不可避不純物元素からなる合金鋼で形成され、浸炭窒化処理を施し、その後研削加工した後の表面層の炭素量および表面層の窒素量がそれぞれ

C : 0.6～1.2重量%  
N : 0.2～0.9重量%

であり、更に、Crと窒素の総含有量（素材中のCr含有率と表面層におけるN含有率との合計である。以下、同じ）が、

Cr+N : 0.4～1.0重量%

であることを特徴とするものである。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を説明する。まず、本発明の第1の目的に係る発明に用いられ

る合金成分の限定理由について述べる。

【C；含有量】Cは、基地をマルテンサイト化することにより、焼入れ・焼戻し後の硬さを向上するために必要な元素である。その含有量を0.1重量%以上としたのは、軸受として必要な強度を確保するためである。上限を1.0重量%以下としたのは、これ以上含有すると心部の靱性を低下させるからである。

【0025】【Si；含有量】Siは、製鋼時の脱酸剤として必要な元素であり、また焼戻し軟化抵抗を高め、転動疲労寿命を向上させるのに有効な元素であるため0.1重量%以上含有させるが、浸炭窒化時に炭素や窒素が表面から侵入するのを阻害し、熱処理生産性を低下させるので上限を1.5重量%とした。

【0026】【Mn；含有量】Mnは、製鋼時の脱酸剤および脱硫剤として必要な元素であり、また焼入れ性を向上させるのに有効な元素であるため0.1重量%以上含有させるが、多量に添加すると被削性を低下させるため上限を1.5重量%とした。

【Cr；含有量】Crは焼入れ性向上、焼戻し軟化抵抗性向上など基地を強化する元素であり、その効果を有効に出すためには最低0.1重量%が必要である。また、多量に添加すると表面にCr酸化物が形成され、浸炭窒化時に炭素や窒素が表面から侵入するのを阻害し、熱処理生産性を低下させるため上限を3.0重量%とした。

【0027】【完成品表面層のC含有量】浸炭窒化処理を施す場合では、窒素両との兼ね合いで最低限0.6重量%あれば転がり軸受として最低限必要な硬さと耐磨耗性が得られるので下限値は0.6重量%とする。一方、表面層の炭素濃度が1.5重量%を越えると、以下に述べる条件との組み合わせにより結晶粒界に網目状の粗大炭化物が析出し、そこへ応力集中が生じて転動疲労寿命が低下する。

【0028】【完成品表面層のN含有量】完成品表面層のN量が0.05重量%未満であると、Nの固溶不足により十分な表面硬さと $\gamma_r$ が得られず、寿命が向上しない。窒素量を増加していくと、窒化物が析出し耐磨耗性が向上する。しかし、Crの添加量によっては、耐磨耗性向上と共に研削加工性が悪化する傾向にあり、0.9重量%を越えるとCrの添加量を減らしても研削性が改善されない。

【0029】本発明の第1の目的である異物混入潤滑下で長寿命であるということに加えて、且つ安価でもある転がり軸受を得るという第2の目的をも達成すべく、本願発明者らは、転動体と内外輪とでは要求される機能が違ってくるので、要求される機能や加工性に対してコストを考慮した最適な材料と熱処理に関して研究を重ねた。その結果、

①例えば小形転がり軸受の転動体は、素材の成分調整や熱処理によって、材料コストと加工コストを最小限にして長寿命化が可能なこと。

【0030】②また、これとは別に、内外輪についても、素材の成分調整や熱処理によって材料コストと加工コストを最小限にして、寸法安定性と長寿命化が可能となることを見いだした。そして、これらの転動体と内外輪とを組み合わせることで、高機能で低コストの軸受を提供することが可能となった。

以下に、本発明の第2の目的にかかる発明における数値限定等の臨界的意義について述べる。

【0031】次に、本発明の第2の目的に係る発明に用いられる合金成分の組成範囲を限定する理由を説明する。

【C；含有量】転動体は熱処理による変形がほとんど無く、熱処理後の研削取り代が少ないので、浸炭窒化処理が短時間であっても、研削加工後の完成品表面層に十分な浸炭窒化層が残る。一方、浸炭窒化することで、低合金鋼であっても完成品表面層に適量の $\gamma_r$ と圧縮残留応力が得られて、異物混入潤滑下でも長寿命となる。ただし、短時間の浸炭窒化では有効硬化層深さが不足する場合が出てくる。そのため、転動体については、短時間の浸炭窒化でも十分な硬化層深さが得られるように、素材の炭素量の下限を好ましい値として0.7重量%とした。

【0032】しかしながら、冷間加工性は素材の炭素量が増えると変形抵抗が増加する傾向にあり、Cr含有量を低下させたとしてもC含有量が0.9重量%を越えると工具（金型）寿命が低下する。さらに、素材の炭素量が0.9%を越えると、製鋼時に巨大炭化物や偏析をなくすためのソーキングが必要となり、素材のコストが上昇してしまう。

【0033】以上の理由から、転動体の素材の炭素量は好ましい範囲として0.7重量%以上0.9重量%以下とする。内外輪の場合も、上記転動体の場合と同様に、熱処理時間の短縮には素材の炭素量を高くする方が有利である。しかし、内外輪はシャフトやハウジングに組み込まれて使用されるため、使用中の寸法の時効変化量（寸法安定性）は重要な特性になる。素材の炭素量が0.6重量%を越えると、軸受内外輪における心部の $\gamma_r$ が必要以上に増加するため寸法安定性が悪くなり、使用条件によっては内輪クリープ等の不具合が発生する。

【0034】一方、素材の炭素量が0.3重量%未満になると、浸炭窒化処理時間が長くなり、熱処理生産性が低下してしまう。また、焼入れ性が不足し十分な硬化層を得ることができなくなる。以上の理由から、内外輪の素材の炭素量は好ましい範囲として0.3重量%以上0.6重量%以下とする。

【0035】【Si；含有量】素材鋼の製鋼時に脱酸剤として作用し、焼入れ性を向上させるとともに基地マルテンサイトを強化するので、転動体及び内外輪を問わず軸受の寿命を延長するのに有効な元素であり、その効果を有効に出すためには最低0.1重量%は必要である。

しかし、Si含有量が多すぎると被削性、鍛造性、冷間加工性を劣化させる上、浸炭窒化時にその浸透深さが急激に減少することとなるため、本発明で行う短時間浸炭窒化が十分に効果が発揮できるよう上限を好ましい値として0.7重量%とした。以上の理由から、転動体および内外輪の素材のSi量は、0.1重量%以上0.7重量%以下とする。ここで、浸炭窒化深さを重視すると、望ましくは0.5重量%以下としたい。

【0036】[Mn；含有量] 一般に焼入れ性を向上させるには、MnまたはCrを添加する。しかしながら、Crは炭化物生成元素なので、添加したCrがすべて基地の焼入れ性向上に機能することにはならないし、コストもMnより高い。本発明では、材料費や加工費を極限まで抑えるため、最低必要限度の合金成分範囲を設定している。

【0037】そこで、転動体について、少ない元素で確実に焼入れ性を上げるため、また異物混入潤滑下での転がり寿命に有効な残留オーステナイト生成元素でもあることに着目して、Mnの含有量を好ましくは最低0.5重量%とする。しかし、Mnは素材のフェライトを強化する元素でもあり、含有量が増すと冷間加工性が著しく劣化するため上限を好ましくは1.1重量%とする。

【0038】以上の理由から、転動体の素材のMn量は、0.5重量%以上1.1重量%以下とする。内外輪のMnについても同様であるが、内外輪は熱間（温間）鍛造で加工されるので、上記Mnによる加工性の影響は少ない。一方、内外輪は形状的に転動体より焼入れ性が悪くなる。そこで、Mn含有量範囲を転動体の場合よりも幾らか多めにし、必要量の下限を好ましい値として0.6重量%とする。しかし、1.3重量%を越えると鍛造および通常の軟化焼鈍（保持温度670～690℃）後の被削加工性が劣化するので、前記通常の軟化焼鈍の場合では上限を好ましくは1.3重量%とする。

【0039】しかし、本発明において、特に安価な転がり軸受を得るという第2の目的を達するものでは、転動体の直径（円すいころでは平均直径）としては型鍛造で製作可能な例として最大22mm程度までを想定しており、それと組み合わせる内外輪の肉厚は例として最大15mm程度までとなる。形状的にも不利な内外輪でこの程度のサイズになると、Mn1.3重量%ではやや焼入れ性が不十分となる。しかし、上述のように単純にMnを1.3重量%を越えて含有させたのでは、切削工程で使用される工具の寿命が低下してしまう。

【0040】そこで、切削工程の前に行う軟化焼鈍の条件と切削性との関係について研究を重ねた結果、素材の含有する炭素量に応じてこの焼鈍条件を適正に設定することにより、Mnを1.5重量%まで含有させても十分な切削加工性（工具寿命）が得られることが判明した。具体的に述べると、素材の炭素含有量が0.3重量%未満の場合は、通常一般的な低温軟化焼鈍として、680

℃（±10℃程度）前後で焼鈍を行っている。しかし、素材の炭素量が増加するとパーライト組織が多く、炭化物の量も増加してくるので、通常の軟化焼鈍では十分に硬さが下がらず、切削性が低下していく。そこで通常より高い温度で焼鈍を行うことで、炭化物を極力球状化に近づけることで切削性を向上させる。

【0041】一方、素材の炭素含有量が0.3重量%以上0.4重量%未満の場合は、焼鈍温度をあまり高くしすぎると今度は炭化物が溶け込んでしまい、その後の放冷方法によっては焼鈍前に戻ったりしてうまく軟化しない場合が出てくる。短時間に有効な軟化を行う条件として、素材の炭素含有量が0.3重量%以上0.4重量%未満の場合は加熱し保持する温度（最高温度）を700～720℃とすれば良いことがわかった。

【0042】また、素材の炭素含有量が0.4重量%以上0.6重量%以下の場合はさらに保持する温度を高めにし、740～760℃とすれば良いことが確認された。しかし、素材のMn含有量が1.5重量%を越えると、焼鈍条件を変えても切削工具の寿命改善はできなかった。以上の理由から、内外輪の素材のMn量は、好ましくは0.6重量%以上1.5重量%以下とする。

【0043】[Cr；含有量] Crは焼入れ性向上、焼戻し軟化抵抗性向上など基地を強化する元素であり、その効果を有効に出すためには最低0.1重量%が必要である。しかし前記したように、炭化物生成元素でもあり、Cr含有量が増えても全てが固溶することにはならず焼入れ性向上効果が下がる傾向がある。また、Cr含有量が0.6重量%を越えると、製鋼過程で巨大炭化物や偏析の生成を改良するためにソーキング処理を行う必要があり、Cr添加コストと共に素材コストが上昇してしまう。さらに、浸炭窒化後の表面層に必要な以上の窒素を固溶して研削性を低下させる傾向にある。そこで、転動体および内外輪のいずれにおいても上限は好ましくは0.6重量%とする。

【0044】以上の理由から、転動体および内外輪の素材のCr量は、0.1重量%以上好ましくは0.6重量%以下とする。

[Feおよび不可避的不純物；含有量] 軸受用鋼の清浄度は、特にクリーンな潤滑下での転がり寿命に大きく影響することが知られている。軸受用鋼の不純物元素で特にS、Ti、O等は清浄度を低下させ寿命に影響するので、長寿命材料ではその量を厳しく規定している。しかし、Ti、Oの極限的な低減は材料コストを引き上げる場合があり、またSの極限的な低下は加工性を低下させ、加工コストが上がる場合もある。

【0045】本発明の転がり軸受の用途では、特に異物混入潤滑下での長寿命化が目的であり、材料や熱処理特性による硬さや $\gamma_s$  %の方が重要で、コストアップを招くような厳しい不純物規制は行わない。以上の理由から、転動体および内外輪のいずれの素材についても、F

10

20

30

40

50



eおよび不可避免の不純物の量的規定はしない。ただし、通常、軸受材料として使用できる清浄度規制（JIS G 4805）は満足する品質（ベアリング クオリティー）レベルとする。

【0046】続いて、上記の合金成分組成以外の項目（加工性等）について、限定理由を説明する。

【転動体の素材種類及び成形】小形転がり軸受の転動体は、ほとんどの場合、コイル材をヘッダ加工している。ヘッダ加工された転動体は旋削加工が不要のため、素材の歩留りが良く、生産効率も高く、低コストである。もっとも、金型の寿命がコストに影響する。金型寿命は被成形材の冷間加工性や加工硬化性などに左右され、転動体の形状やその素材の合金成分によって変わってくる。

【0047】上記冷間加工性は材料のC含有量、Cr含有量、Mn含有量に影響されるが、本第2の目的に係る発明の材料は寿命を含めた軸受機能に必要な最低限度の合金成分設定であるから、従来の軸受用の鋼材に比べて加工性が良好であり、金型寿命も長くなる傾向にある。以上の点を勘案して、望ましい例として、本発明の転動体は、線材を用いて冷間型鍛造（ヘッダ加工）で成形するものとする。

【0048】【内外輪の加工】本発明に係る転がり軸受の内外輪は、通常の小形転がり軸受の製造の場合と同じく、材料を熱間（温間）鍛造し、軟化焼鈍後に旋削加工を行うものとする。旋削加工においては、材料の旋削性の違いにより工具の寿命が変わってくる。本第2の発明に係る軸受材料は、軸受の寿命を含めた軸受機能に必要な最低限度の合金成分設定であるから、従来の軸受用鋼に比べて加工性が良好で旋削加工時の工具磨耗量が少ない。

【0049】【軸受完成品表面層の成分組成】転がり軸受の長寿命化を達成するためには、完成品の表面硬さと $\gamma_r$ が最適な関係にあることが必要である。本第2の目的に係る発明では、材料費や加工費を極限まで抑えるために、転動体と内外輪とのいずれにおいても、最低必要限度の合金成分範囲を設定している。このため、浸炭窒化によるCとNとの固溶で、特にNが適量に固溶することにより、長寿命に必要な硬さや $\gamma_r$ が得られる。

【0050】具体的には、転動体及び内外輪の浸炭窒化処理後の完成品表面層で、C量が0.8重量%未満であると表面硬さが十分に得られず、寿命が向上しない。一方、完成品表面層のC量が、上記の各条件との組み合わせにより1.4重量%までは問題ないが、1.4重量%を越えると、M<sub>3</sub>C等の巨大炭化物が析出し、これが起点となってクラックが発生し、転がり寿命を著しく低下させる。

【0051】また、完成品表面層のN量が0.05重量%未満であると、Nの固溶不足により十分な表面硬さと $\gamma_r$ が得られず、寿命が向上しない。一方、完成品表面層のN量が0.3重量%を越えると、熱処理時間が長く

なるか、あるいはNポテンシャルを高くするため浸炭窒化処理後の黒皮表面層のN量が高くなる傾向にあり、そのため研削加工性が著しく低下する。

【0052】以上の理由から、本発明の第2の目標を達成する転がり軸受にあつては、転動体および内外輪のいずれも、完成品表面層の炭素濃度は好ましくは0.8%以上1.4%以下、窒素濃度は好ましくは0.05%以上0.3%以下とする。次に、本発明の第2の目的を達成する発明のうち、特に耐磨耗性を要求される種類の転がり軸受に関する発明に用いられる合金成分の組成範囲を限定する理由を説明する。

【0053】上述の『異物混入潤滑下で長寿命かつ低コストの転がり軸受』という目的を有する発明と、部分的に共通な目的を有する発明とは、転動体の成分組成については全く同じである。ただ、内外輪の素材成分が少し異なるのみであり、具体的にはCrの含有量を転動体のそれと関連づけて数値限定している。すなわち、本発明者らは、軸受の耐磨耗性、異物潤滑下の寿命について検討を重ねた結果、転動体にCr含有量が0.1～0.6重量%である低コスト合金鋼に浸炭窒化処理を施した材料を用い、内外輪またはその一方に、転動体よりも0.2重量%以上Cr含有量の多い軸受鋼や浸炭鋼を用いることにより、軸受鋼や浸炭鋼を同一材で使ったときよりもその耐磨耗性を向上させることができ、長寿命の軸受が得られるとの知見を得た。これにより、転動体と内外輪との間のすべりが厳しい条件の転がり軸受であっても耐磨耗性に優れ、異物混入潤滑下での長寿命かつ低コストも達成することが可能となる。

【0054】【転動体のC；Cr；Mn；Siの各成分含有量】これらの成分については、先に説明した第2の目的の転動体と同一であり、重複する説明は省略する。

【内外輪のCr含有量】転動体、内外輪共に軸受鋼SUJ2を用いた場合には、転動体、内外輪共に従来の肌焼鋼SCR420を浸炭または浸炭窒化処理したものを用いた場合よりも、異物混入潤滑下における転がり寿命が短くなり且つ耐磨耗性も悪いという傾向がある。また、これらの材料を組み合わせる転がり軸受を構成した場合にも、SUJ2材の方が摩耗量が大きくて短寿命となる傾向にある。すなわち、耐磨耗性が比較的大きい材料とそれより小さい材料とを単純に組み合わせても耐磨耗性は改善できない。

【0055】本願発明者らは、軸受の寿命、耐磨耗性について研究した結果、転動体にCr含有量が0.1～0.6重量%である低コスト合金鋼に浸炭窒化処理を施した材料を用い、さらに内外輪またはその一方には前記転動体よりも0.2重量%以上Cr含有量の多い軸受鋼や浸炭鋼を用いることにより、軸受鋼や浸炭鋼を同一材で使った場合よりも耐磨耗性を向上させることができ、長寿命な軸受が得られるという知見を得た。

【0056】内外輪に使用する材料は転動体に使用する

10

20

30

40

50



材料よりもCrが0.2重量%以上多く含有されており、さらにその転動体のCr含有量が0.6重量%以下と低濃度なこともあって、相接する部材間の熱伝導率の違いにより両者の摩擦面での熱拡散が転動体側に進行し易くなる。これが内輪または外輪の焼戻し軟化を鈍らせることとなり、その結果、内外輪、転動体にすべて同一材を使用したものよりも耐磨耗性が向上する。更にCr含有量の差が0.4重量%以上になると、その効果が十分に発揮できるようになるため、望ましくはCr含有量の差は0.4重量%以上とする。

【0057】転動体に用いる材料はCr含有量が少ない低コスト合金鋼であるが、浸炭窒化処理してあるために適量の $\gamma_r$ を備えて異物混入潤滑下で長寿命である。さらに窒素の作用効果により表面層では耐磨耗性及び焼戻し軟化抵抗性にも優れているから、相手材の耐磨耗性を向上させても自己の耐磨耗性は低下しない。しかし、内外輪のCr含有量が転動体のCr含有量より2.0重量%を越えて多くなると、内外輪の耐磨耗性が更に向上することから、摩擦熱等の影響が大きく転動体表面にかかるようになって、表面層の $\gamma_r$ 分解や硬さ低下が起こり、その結果転がり軸受の耐磨耗性や異物混入潤滑下での寿命が低下する。また、Cr量が高くなると、素材の加工性が低下し且つ材料コストも上昇する。

【0058】以上の理由から、内外輪材料のCr含有量を転動体のそれより多くする程度は、0.2～2.0重量%の範囲とする。

〔内外輪のその他の合金成分の含有量〕本発明の第2の目的を達成するもので特に耐磨耗性を必要とする種類の転がり軸受に関する発明の転がり軸受は、転動体に低コストでしかも耐磨耗性に優れた低Cr含有量鋼を用い、これに関連してCr含有量を規定した内外輪を組み合わせることで、当該内外輪の耐磨耗性をも向上させて軸受全体の寿命を延ばすものである。従って、本来、内外輪素材の成分組成にはCr含有量以外に大きな制限を設ける必要がない。しかしながら、素材の他に加工、熱処理等を含む軸受としての総合コストに対する軸受として必要な機能を考慮すると、一定の成分組成を規定する方が望ましい。

【0059】すなわち、素材のC量については、0.3重量%未満になると浸炭又は浸炭窒化処理時間が長くなり熱処理生産性が低下する。一方、0.6重量%を越えると、心部の $\gamma_r$ 量が必要以上に増加して寸法安定性が悪くなり、使用条件によっては内輪クリープや外輪とハウジングのかじり等の不具合が発生する。よって、望ましくは素材のC量は0.3重量%以上0.6重量%以下とする。ただし、軸受鋼のように通常は焼入れ処理を行うだけで軸受として必要な硬さが得られる場合は、深部の $\gamma_r$ 量が過大に増加することはなく、コストも低いのでC料が0.6重量%を越えても内外輪として採用できる。

【0060】また、素材のMnについては、焼入れ性を向上させると共に異物混入潤滑下での転がり寿命に有効な残留オーステナイト生成元素であるため、望ましくはその含有量を0.3重量%以上とする。ただし、Mnは素材のフェライトを強化する元素であり、含有量が増すと冷間加工性が著しく低下する。よって、望ましくは素材のMn量は0.3重量%以上1.2重量%以下とする。

【0061】また、素材のSiについては、製鋼時に脱酸剤として作用して焼入れ性を向上させると共に、基地マルテンサイトを強化するので、軸受の寿命を延長するのに有効な元素であり、最低0.1重量%が好ましい。しかし、Si含有量が多すぎると被削性、鍛造性、冷間加工性を劣化させる上、浸炭窒化時にその浸透深さが急激に減少することとなる。よって、望ましくは素材のSi量は0.1重量%以上0.5重量%以下としたい。

【0062】続いて、本発明の第3の目的に係る発明に用いられる合金成分の作用および数値限定の臨界的意義について説明する。なお、C、Si、Mnについては、前記第1の目的のものと同ーなので説明を省略する。

〔Cr；含有量〕Crは、焼入れ性を向上させ、基地を固溶強化する他、浸炭窒化により軸受表面層に炭化物、窒化物および炭窒化物を析出させ、転動疲労寿命および耐磨耗性を向上するのに役に立つ。Crの含有量の好ましい下限値として0.5重量%としたのは、これ以下ではその添加効果が少ないためである。また、多量に添加すると表面にCr酸化物が形成され、浸炭窒化時に炭素や窒素が表面から侵入するのを阻害し、熱処理生産性を低下させるため上限を3.0重量%とした。

【0063】〔Mo；含有量〕Moは、焼戻し軟化抵抗を増大し、また、Crと同様に浸炭窒化により軸受表面層に炭化物、窒化物および炭窒化物を析出させ、転動疲労寿命および耐磨耗性を向上するのに有効な元素である。上限を3.0重量%としたのは、あまり多量に添加すると塑性加工性が悪くなることおよび高価になるためである。

【0064】〔V；含有量〕Vは、Moと同様に焼戻し軟化抵抗を増大し、また浸炭窒化により非常に微細で高硬度なVC炭化物や窒化物および炭窒化物を生成し、その分散強化により耐磨耗性および転動疲労寿命特性の向上に有効な元素である。上限を2.0重量%としたのは、あまり多量に添加すると被削性が悪くなることおよび高価になるためである。

【0065】〔Ni；含有量〕Niは、マトリクスに固溶して靱性を向上させるのに有効な元素である。しかしながら、あまり多量に添加すると表面層の $\gamma_r$ が増加しすぎて硬さが低下するため上限を2.0重量%とした。

〔軸受完成品表面層の成分組成〕先にも述べた通り、従来から、耐磨耗性を向上させるために、Cr、Mo、V等の炭化物形成元素を多量に添加して軸受表面層に炭化

物を析出させる方法が知られているが、合金元素を多量に含有し又熱処理コストも高くなるため非常に高価になってしまう。そこで、特に異物混入潤滑下で転がり寿命が長寿命で且つ耐磨耗性にも優れた転がり軸受を得るといふ本発明の第3の目的を達成すべく、本願発明者らは軸受表面層の炭素濃度および窒素濃度に着目し、寿命および耐磨耗性との関係について研究を行った結果、軸受表面層の窒素濃度を適正化することにより耐磨耗性を著しく向上できることを見いだした。

【0066】具体的には、図1に示すように、浸炭窒化処理を施した表面層の窒素濃度が好ましくは0.3重量%以上であれば、非常に微細な炭化物、窒化物および炭窒化物の分散強化により耐磨耗性が著しく向上する。もっとも、表面層の窒素濃度があまりに高すぎると $\gamma_2$ が多くなりすぎて硬さが低下し、低速度、高荷重の条件下で使用される製鉄用等の転がり軸受としての使用に耐えないため、表面層の窒素濃度を好ましくは0.7重量%以下とする必要がある。

【0067】この時、マトリクスに十分な強度を与えて長寿命化を図るためには、表面層の炭素濃度は好ましくは0.8重量%以上必要である。一方、表面層の炭素濃度が1.5重量%を越えると、以下に述べる条件との組み合わせにより結晶粒界に網目状の粗大炭化物が析出し、そこへ応力集中が生じて転動疲労寿命が低下する。以上の理由から、本発明の第3の目的に係る発明においては、転動体および内外輪の少なくとも一つが、完成品表面層の炭素濃度は好ましくは0.8%以上1.5%以下、窒素濃度は好ましくは0.3%以上0.7%以下とする。

【0068】なお、本発明の第3の目的に係る発明においては、内輪、外輪のうちの固定輪のみに先に述べた成分組成の合金鋼を用いれば、耐磨耗軸受を一層安価に供給することが可能である。また、連铸機用軸受等のように、割れについても問題となる場合には、母材の炭素濃度を0.5重量%以下とすることが望ましい。続いて、本発明の第4の目的に係る発明に用いられる合金成分の作用および数値限定の臨界的意義について説明する。

【0069】これは、特に高速、低荷重条件下で、耐磨耗性と低コストを両立させるべく、上記第2の目的と第3の目的との中間程度のところを狙ったものである。一般に、転がり軸受材料として使用されているSUJ2などの軸受鋼やSCR420相当の肌焼鋼を浸炭窒化处理した場合、窒素濃度が増加されると耐磨耗性は大きく向上するが、反面、研削性は著しく低下する傾向にあり、加工費の面で大きなコストアップとなる。

【0070】そこで、本発明者らは材料成分と窒素濃度、研削性及び耐磨耗性等の相関について研究を重ねた結果、Cr含有量と窒素添加量を適正化することにより、異物混入下における長寿命と耐磨耗性に優れ、且つ研削性を含めた加工性も良好な軸受を低コストで提供で

きることを見い出した。

【C；含有量】Cは、軸受として必要な心部強度を得るためには必要な元素である。しかし、素材の炭素量が0.9重量%を越えると、製鋼時に巨大炭化物や偏析をなくすためのソーキングが必要となり、材料費のコストアップとなる。また、炭素量が増すと変形抵抗が増加する傾向にあり、冷間加工性や切削性が悪くなるので上限は好ましい値として0.9重量%とした。一方、素材の炭素量が0.3重量%未満になると浸炭（又は浸炭窒化）処理が長くなり熱処理生産性が低下するため、下限を好ましい値として0.3重量%とした。ただし、内外輪に使用する場合、寸法安定性や心部靱性が問題となる時には素材の炭素量を0.6重量%以下とすることが望ましい。

【0071】【Si；含有量】Siは製鋼時に脱酸剤として必要な元素であり、焼入性を向上させるとともに基地マルテンサイトを強化し、さらに焼戻し軟化抵抗性を高めるのに有効な元素であるため0.1重量%以上の添加は必要である。しかし、その含有量が多すぎると冷間加工性や切削性を低下させ、さらに浸炭窒化の際の炭素及び窒素の浸透深さが減少し、熱処理費のコストアップにつながるので上限を好ましい値として0.7重量%とした。

【0072】【Mn；含有量】Mnは、焼入れ性を向上させるのに有効な元素である。さらに本発明では浸炭窒化处理を行うことで、軸受完成品表面に微細な窒化物を形成し耐磨耗性を向上させるが、Mnを添加すると浸炭窒化しても研削性が低下しにくくなることを発見した。この効果を発揮させるため好ましくは0.5重量%以上は必要である。しかし、多量に添加されると素材の冷間加工性や切削性が低下するので上限を1.5重量%とした。

【0073】【Cr；含有量】Crは焼入れ性、焼戻し軟化抵抗性を向上させるのに有効な元素であるため、0.1重量%以上は必要であり、浸炭窒化处理を行うことで軸受完成品表面に窒化物を形成し耐磨耗性を向上させるが、Cr量と窒素含有量の関係が一定量を越えると研削性が悪くなる。また、過剰な添加は材料のコストアップとなるだけでなく、浸炭窒化時の炭素および窒素の浸透深さが減少し、熱処理費のコストアップにつながる所以で上限を好ましい値として0.8重量%とした。

【0074】【完成品表面のC含有量；0.6~1.2重量%】通常、浸炭窒化处理後の完成品表面の炭素濃度は軸受として必要な硬さを得るために0.8以上必要とされているが、本発明では長寿命と耐磨耗性とを同時に得るために窒素含有量の上限値を増やしているため、最低必要な表面炭素量は0.6重量%となる。しかしながら、その含有量が1.2重量%を越えると窒素含有量と合わせて固溶量が過剰となり、処理条件によっては必要以上の $\gamma_2$ が発生して表面硬さが逆に低下したり、初析

が生じたりして転動寿命を低下させる場合がある。そのため上限を好ましい値として1.2重量%とした。

【0075】[完成品表面のN含有量; 0.2~0.9重量%] 完成品表面の窒素量が0.2重量%未満の場合、窒素の固溶不足により寿命と耐磨耗性を同時に得ることが困難となってくる。従って、下限として好ましくは0.2重量%とする。一方、窒素量を増加していくと、窒化物が析出し耐磨耗性が向上する。しかし、Crの添加量によっては、耐磨耗性向上と共に研削加工性が悪化する傾向にあり、0.9重量%を越えるとCrの添加量を減らしても研削性が改善されない。

【0076】[Crと窒素の総含有量Cr+N; 0.4~1.0重量%] Crは窒素添加によって窒化物あるいは炭窒化物を形成して耐磨耗性を向上させる作用がある反面、研削性は低下する。本発明者らは、素材中のCrの含有率と表面層におけるN含有率の和が適正な範囲内であれば研削性及び耐磨耗性が共に良好となることを実験的に見いだした(実験内容については後述の実施例で詳しく述べる)。

【0077】結論として、表面層のN含有量が0.2重量%以上との条件で、上記Cr+N量が1.0重量%を越えると研削性が急激に悪化し、一方、0.4重量%未満になると耐磨耗性が著しく低下することが判明した。そこで、研削性と耐磨耗性とを同時に満足させ得るCr+N量の適正な範囲を0.4~1.0重量%と規定し \*

\*た。Cr+N量がこの範囲内にあっても、表面層N含有量が0.2重量%以上で無い場合には十分な耐磨耗性が得られない。

【0078】(実施例)

(A-1) 以下に、本発明の第2の目的に係る発明の実施例を説明する。

(1) 転動体の材料成分とソーキング処理の必要性有無及び金型寿命: 実施例と比較例の各鋼種について、ソーキング処理の必要性と冷間型加工による金型寿命を比較した。

【0079】ソーキング処理: 試料素材のピレット断面をマクロ及びミクロ調査し、寿命に有害な巨大炭化物や濃厚な縞状偏析の有無を確認した。結果を表1に示す。型寿命:

冷間型鍛造(据え込み加工)の条件

金 型: V30 (JIS B4053)

据え込み率: 15~20%

加工性: 毎分300~400個

潤 滑: 磷酸亜鉛皮膜+潤滑油

各鋼種を上記条件で加工し、金型にクラックが発生したり破損したりして加工後のワークに傷や変形が出るまでを金型寿命とし、それ迄に加工されたワークの数で金型寿命を示した。結果を表1に併記して示す。

【0080】

【表1】

|             | 鋼種  | C<br>(%) | Si<br>(%) | Mn<br>(%) | Cr<br>(%) | ソーキング<br>処理 | 金型寿命<br>( $\times 10^3$ 個) |
|-------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|----------------------------|
| 実<br>施<br>例 | C1  | 0.75     | 0.48      | 0.78      | 0.45      | 不要          | 216                        |
|             | C2  | 0.84     | 0.51      | 0.96      | 0.28      | 不要          | 207                        |
|             | C9  | 0.72     | 0.49      | 0.81      | 0.35      | 不要          | 226                        |
|             | C10 | 0.88     | 0.48      | 0.80      | 0.36      | 不要          | 206                        |
|             | C11 | 0.81     | 0.50      | 0.52      | 0.34      | 不要          | 230                        |
|             | C12 | 0.80     | 0.51      | 1.07      | 0.35      | 不要          | 202                        |
|             | C13 | 0.82     | 0.50      | 0.89      | 0.12      | 不要          | 219                        |
|             | C14 | 0.79     | 0.49      | 0.79      | 0.58      | 不要          | 201                        |
|             | C3  | 0.58     | 0.46      | 1.02      | 0.48      | 不要          | 235                        |
|             | C4  | 1.05     | 0.49      | 0.75      | 0.30      | 必要          | 73                         |
|             | C5  | 0.81     | 0.45      | 0.44      | 0.56      | 不要          | 223                        |
|             | C6  | 0.82     | 0.47      | 1.22      | 0.32      | 不要          | 85                         |
|             | C7  | 0.84     | 0.50      | 1.03      | 0.05      | 不要          | 209                        |
|             | C8  | 0.82     | 0.49      | 0.83      | 0.75      | 必要          | 93                         |

【0081】ソーキング処理については、C量が0.9重量%を越えるものや、Cr量が0.6重量%を越えるものはソーキング処理が必要と判断した。型寿命については、C量が0.9重量%、Mn量が1.1重量%を越えるものや、Cr量が0.6重量%を越えるものは、加※試験条件:

※工性が低下するため金型寿命が著しく低下している。

【0082】(2) 内外輪の材料成分と切削加工での工具寿命: 実施例と比較例の各鋼種について、切削加工における工具寿命を比較した。

切削機械 : 高速旋盤

工 具 : P10 (JIS B 4053)

切り込み速度 : 180~220 m/sec

送り量 : 0.2~0.3 mm/rev

切り込み深さ : 0.6~1.0 mm

軟化焼鈍 :

焼鈍条件X : 加熱保持温度 (最高温度) 700~720℃、加熱から冷却までを含む全処理時間 8~10時間

焼鈍条件Y : 加熱保持温度 (最高温度) 740~760℃、加熱から冷却までを含む全処理時間 8~10時間

焼鈍条件Z : 加熱保持温度 (最高温度) 670~690℃、加熱から冷却までを含む全処理時間 8~10時間、(通常焼鈍)

JIS B 4011のバイト切削試験法に従って、上 \*す。

記条件で各試料を切削し、バイトの逃げ面磨耗量が0.2 【0083】

mmに達するまでを工具寿命とした。結果を表2に示 \* 【表2】

|             | 鋼種  | C<br>(%) | Si<br>(%) | Mn<br>(%) | Cr<br>(%) | 焼鈍条件 | 工具寿命<br>(分) |
|-------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|------|-------------|
| 実<br>施<br>例 | R1  | 0.42     | 0.49      | 1.10      | 0.28      | Z    | 156         |
|             | R2  | 0.55     | 0.52      | 0.85      | 0.48      | Z    | 135         |
|             | R9  | 0.32     | 0.48      | 0.91      | 0.36      | Z    | 189         |
|             | R10 | 0.57     | 0.51      | 0.89      | 0.35      | Z    | 103         |
|             | R11 | 0.45     | 0.52      | 0.61      | 0.33      | Z    | 166         |
|             | R12 | 0.46     | 0.49      | 1.17      | 0.35      | Z    | 105         |
|             | R13 | 0.44     | 0.48      | 0.90      | 0.13      | Z    | 128         |
|             | R14 | 0.46     | 0.50      | 0.89      | 0.56      | Z    | 103         |
|             | R15 | 0.42     | 0.47      | 1.30      | 0.31      | Z    | 100         |
|             | R16 | 0.35     | 0.49      | 1.48      | 0.35      | X    | 114         |
|             | R17 | 0.46     | 0.49      | 1.46      | 0.34      | Y    | 113         |
|             | R18 | 0.56     | 0.47      | 1.48      | 0.35      | Y    | 108         |
| 比<br>較<br>例 | R3  | 0.22     | 0.48      | 1.12      | 0.45      | Z    | 186         |
|             | R4  | 0.73     | 0.46      | 0.87      | 0.36      | Z    | 28          |
|             | R5  | 0.51     | 0.51      | 0.41      | 0.55      | Z    | 168         |
|             | R6  | 0.50     | 0.50      | 1.33      | 0.28      | Z    | 22          |
|             | R7  | 0.48     | 0.47      | 1.10      | 0.04      | Z    | 126         |
|             | R8  | 0.52     | 0.48      | 0.87      | 0.72      | Z    | 35          |
|             | R19 | 0.36     | 0.48      | 1.65      | 0.45      | X    | 21          |
|             | R20 | 0.55     | 0.46      | 1.58      | 0.36      | Y    | 23          |
|             | R21 | 0.52     | 0.48      | 1.63      | 0.72      | Y    | 26          |

【0084】C量が0.6重量%を越えるものや、Mn量が1.5重量%、Cr量が0.6重量%を越えるものは、加工性が低下するため切削工具寿命が著しく低下している。なお、Mnについては、通常焼鈍Zの場合では1.3重量%を越えるもの(R6)では工具寿命が低下しているが、焼鈍条件XではC含有量が0.4重量%以下、焼鈍条件YではC含有量が0.4~0.6重量%で

あればMn1.5重量%まで十分な工具寿命の得られることが確認された。

【0085】(3) 転動体及び内外輪の熱処理品質 : 転動体及び内外輪について実施例と比較例の各試料を用意し、各種の熱処理条件における熱処理品質をそれぞれ比較した。熱処理の条件は表3に示すものとした。

【0086】

【表3】

| 記号 | 処理温度(℃) | 処理時間 | 処理条件  |
|----|---------|------|-------|
| A  | 850~900 | 1~2  | 浸炭窒化  |
| B  | 870~930 | 2~4  | 浸炭窒化  |
| C  | 850~900 | 5~7  | 浸炭窒化  |
| D  | 930~960 | 5~7  | 通常浸炭  |
| E  | 930~960 | 5~7  | 高濃度浸炭 |

【0087】〔熱処理A〕温度850~900℃で、1~2時間、次の処理条件で処理。吸熱形ガス雰囲気でエンリッチガス0.3~0.7%、アンモニアガス3~10%の条件で浸炭窒化を行い、そのままダイレクトに焼入れを行い、次いで160~200℃で2時間の焼戻しを行った。

【0088】〔熱処理B〕温度870~930℃で、2~4時間、次の処理条件で処理。吸熱形ガス雰囲気でエンリッチガス0.3~0.7%、アンモニアガス3~10%の条件で浸炭窒化を行い、そのままダイレクトに焼入れを行い、次いで160~200℃で2時間の焼戻しを行った。

【0089】〔熱処理C〕温度850~900℃で、5~7時間、次の処理条件で処理。吸熱形ガス雰囲気でエンリッチガス0.3~0.7%、アンモニアガス3~10%の条件で浸炭窒化を行い、そのままダイレクトに焼入れを行い、次いで160~200℃で2時間の焼戻しを行った。

【0090】〔熱処理D〕温度930~960℃で、5~7時間、通常の浸炭処理を行った後、室温まで放冷し、次いで840~860℃で30分間保持し、その後焼入れを行い、次いで160~200℃で2時間の焼戻しを行った。

〔熱処理E〕温度930~960℃で、5~7時間、カーボンポテンシャル値C<sub>1</sub>=1.2~1.4の高濃度浸炭処理（通常はC<sub>1</sub>=0.9~1.0）を行った後、室温まで放冷し、次いで840~860℃で30分間保持し、その後焼入れを行い、次いで160~200℃で2時間の焼戻しを行った。

【0091】本発明の転動体に行う熱処理は上記の〔熱処理A〕である。この熱処理Aは、短時間の浸炭窒化処理でダイレクトに焼入れを行うので、通常の焼入れ処理とコスト的にはほぼ同等となる。また、切削加工時の取り代が少ないので完成品表面にC、Nが十分に残り、機能は通常焼入れに対して大幅に向上する。ここで、処理温度が900℃を越えた場合は、完成品表面に必要以上のγ<sub>2</sub>が発生し、硬さが低下したり、心部の靱性が低下して軸受としての機能や寿命が低下してしまう。一方、処理温度を850℃より下げたり、必要以上に処理時間を延ばすと、黒皮表面に必要以上にNが含まれるので研削性が著しく低下してしまうことになる。

【0092】本発明の内外輪に行う熱処理は上記の〔熱処理B〕である。中炭素鋼を使用することで、従来の浸炭または浸炭窒化処理品に対して短時間で処理できる。ここで、処理温度が930℃を越えると、転動体と同様に硬さが低下したり、また中炭素鋼を使用しても心部の結晶粒度の粗大化等により、靱性が低下して軸受としての機能や寿命が低下してしまう。一方、処理温度を870℃より下げたり、必要以上に処理時間を延ばすと、転動体と同様に研削性が著しく低下してしまう。

【0093】ここで、本発明の熱処理は、コストを優位にするべくダイレクトに焼入れる方法を使用しているが、内外輪の熱処理に関して軸受の名番によっては、熱処理変形を矯正するために二次焼入れを行う場合がある。これは、熱処理コスト的には不利になるが、全体としてみると、変形が減って研削コストが下がるので有利になる場合があり、熱処理品質も二次焼入れを行う方が安定し、ダイレクト焼入れ品に対し同等以上の機能が得られる。

【0094】表4に、実施例の転動体の熱処理品質を比較例とともに示す。

【0095】

【表4】

|     | No. | 鋼種 | 熱処理 | C<br>(重量%) | N<br>(重量%) |
|-----|-----|----|-----|------------|------------|
| 実施例 | 1   | C1 | A   | 0.86       | 0.23       |
|     | 2   | C2 | A   | 0.98       | 0.19       |
| 比較例 | 3   | C3 | A   | 0.81       | 0.23       |
|     | 4   | C5 | A   | 0.96       | 0.21       |
|     | 5   | C7 | A   | 0.97       | 0.20       |

【0096】この比較例は、表1における比較例のうちで金型寿命が長いものを選んでいく。鋼種C4、C6、C8については、加工性が劣っているのでその後の熱処理や寿命試験は行わない。なお、表4中のC量、N量は、完成品表面層における量である。

(4) 内外輪の研削性試験：実施例と比較例の各鋼種について研削性の試験を行い比較した。

【0097】試験条件：

砥石：WA100

研削液：ソリュブルタイプ

砥石周速：2800~3000 m/min

各鋼種の軸受の内輪軌道面に相当するサンプルについて、上記条件で砥石により研削し、砥石の形状くずれ及び目詰まりの状態を観察し、砥石のドレスを行うまでに研削したサンプル数（研削個数）を調査したものである。

【0098】表5に、研削性試験の結果を、比較例とともに示す。この比較例は、表2における比較例のうちで工具寿命が長いものを選んでいく。鋼種R4、R6、R

8およびR19～R21については、転動体の場合と同様、寿命試験は行わない。なお、表5中のC量、N量は、完成品表面層における量である。

\*【0099】

【表5】

\*

|     | No. | 鋼種  | 熱処理 | C<br>(重量%) | N<br>(重量%) | 研削個<br>(個数) |
|-----|-----|-----|-----|------------|------------|-------------|
| 実施例 | 6   | R1  | B   | 0.96       | 0.23       | 24          |
|     | 7   | R2  | B   | 0.98       | 0.24       | 25          |
|     | 14  | R16 | B   | 0.93       | 0.23       | 25          |
|     | 15  | R17 | B   | 0.95       | 0.24       | 24          |
|     | 16  | R18 | B   | 0.98       | 0.23       | 24          |
|     |     |     |     |            |            |             |
| 比較例 | 8   | R2  | C   | 1.05       | 0.61       | 7           |
|     | 9   | R2  | D   | 1.08       | 0.00       | 29          |
|     | 10  | R2  | E   | 1.46       | 0.00       | 26          |
|     | 11  | R3  | B   | 0.78       | 0.26       | 26          |
|     | 12  | R5  | B   | 0.89       | 0.26       | 25          |
|     | 13  | R7  | B   | 0.90       | 0.25       | 25          |

【0100】比較例の試料No. 8は、表面窒素量が高く、研削性が低下した。

(5) 転動体及び内外輪のスラスト寿命試験：実施例と比較例の各鋼種について、異物潤滑下におけるスラスト寿命試験を行い比較した。なお、試験機としては、「特殊鋼便覧」（第1版、電気製鋼研究所編、理工学社、1969年5月25日）の第10章第21頁記載のスラスト形試験機を用いた。

【0101】

試験条件：

面 圧：4900MPa

回転数：3000rpm

潤滑油：#68タービン油

混入異物：

組 成：Fe, C系粉

硬 さ：H<sub>r</sub> C52

粒 径：74～147μm

混入量：潤滑油中に300ppm

表6に、寿命試験の結果の代表例を、比較例とともに示す。

【0102】

【表6】

|     | 軸受<br>No. | 転動体<br>No. | 内外輪<br>No. | 異物混入潤滑下寿命<br>L10寿命(×10 <sup>4</sup> ) |
|-----|-----------|------------|------------|---------------------------------------|
| 実施例 | 1         | 1          | 6          | 29.8                                  |
|     | 2         | 1          | 7          | 30.2                                  |
| 比較例 | 3         | 1          | 8          | 31.5                                  |
|     | 4         | 1          | 9          | 9.6                                   |
|     | 5         | 1          | 10         | 6.3                                   |
|     | 6         | 1          | 11         | 4.2                                   |
|     | 7         | 1          | 12         | 10.2                                  |
|     | 8         | 1          | 13         | 5.2                                   |
| 実施例 | 9         | 2          | 6          | 30.5                                  |
|     | 10        | 2          | 7          | 29.4                                  |
| 比較例 | 11        | 3          | 6          | 15.3                                  |
|     | 12        | 3          | 7          | 16.5                                  |
|     | 13        | 4          | 6          | 10.6                                  |
|     | 14        | 4          | 7          | 9.5                                   |
|     | 15        | 5          | 6          | 6.8                                   |
|     | 16        | 5          | 7          | 7.2                                   |
|     | 17        | 6          | 6          | 12.2                                  |
| 実施例 | 18        | 2          | 14         | 30.3                                  |
|     | 19        | 2          | 15         | 31.2                                  |
|     | 20        | 2          | 16         | 31.7                                  |

【0103】表4の転動体と表5の内外輪TP（スラスト寿命試験なので外輪相当の円板TP）で寿命試験を行

ったもので、本発明品の転動体と内外輪TPとを組み合わせた軸受No. 1, No. 2及びNo. 9, No. 10およびNo. 18~20は、長寿命であり、低コストで高機能な軸受である。これに対して、比較例の軸受No. 3は、長寿命ではあるが内外輪の研削性が悪く、コスト高となってしまう。

【0104】また、比較例の軸受No. 4, No. 5は、内外輪が浸炭処理なので表面に適量のNがなく、軸受No. 7では、内外輪の素材のMn重量%が低すぎるので、内外輪TPの方で異物潤滑下の寿命に必要な適量の $\gamma_R$ が得られないため寿命が短い。さらに、比較例の軸受No. 5は、内外輪における寿命に有害な平均直径 $1\mu\text{m}$ を越える巨大炭化物の発生により更に短寿命になっている。

【0105】また、比較例の軸受No. 6は、内外輪TPの完成品表面層のC量が低く、軸受No. 8ではCrが不足で内外輪TPの寿命に必要な表面硬さが得られなかった。また、比較例の軸受No. 11, No. 12は転動体の素材C量が低く、短時間の浸炭窒化では寿命に十分な硬化層深さが得られずに軸受寿命が低下する傾向にある。

【0106】また、比較例の軸受No. 13, No. 14は、転動体の素材のMn量が低すぎるので、異物潤滑下の寿命に必要な適量の $\gamma_R$ が得られずに寿命が短くなっている。また、比較例の軸受No. 15, No. 16は、転動体の素材のCr量が低く、寿命に必要な表面硬さが得られなかった。

【0107】さらに、比較例の軸受No. 17は、転動体が、素材C量に加え表面層のC量も不足するため、寿命に必要な表面硬さが得られなかった。なお、上記寿命試験において、本発明に係る表1に示した転動体C9~C14を前記【熱処理A】により処理したものと、表2に示した内外輪R9~R14を前記【熱処理B】により処理したものの組み合わせによる軸受においても、前記軸受No. 1, 2および9, 10と同等の $L_{10}$ 寿命であることが確認された。また、内外輪R9~R14については、前記研削性試験の結果も、表5に示したR1, 2と同等の結果が得られた。

【0108】(A-2)以下に、本発明の第2の目的を達成するもので、特に耐磨耗性を必要とする種類の転がり軸受に係る発明の実施例を説明する。これは、本発明および比較例について、種々の鋼種と熱処理条件で形成した転動体と内外輪とを組み合わせる円錐ころ軸受(HR30307C)を試料とし、摩耗試験(L44649/610R)と寿命試験を実施したものである。

【0109】実施例と比較例とで用いた各鋼種は、転動体については大部分を先に述べた【表1】のものから選定した。また、内外輪については【表7】に示した通りである。ただし、転動体の比較例の一部には【表7】に示される鋼種を用いたものも含まれる。

【0110】

【表7】

| 鋼種      | C<br>(%) | Si<br>(%) | Mn<br>(%) | Cr<br>(%) |
|---------|----------|-----------|-----------|-----------|
| SCR440  | 0.41     | 0.25      | 0.80      | 1.05      |
| SCR420  | 0.20     | 0.25      | 0.78      | 1.02      |
| SAE4120 | 0.21     | 0.23      | 1.02      | 0.52      |
| SAE5140 | 0.41     | 0.26      | 0.81      | 0.80      |
| SUJ2    | 1.00     | 0.26      | 0.39      | 1.46      |
| S53CG   | 0.53     | 0.17      | 0.81      | 0.05      |
| EX1     | 0.28     | 0.26      | 1.00      | 2.80      |

【0111】熱処理条件は次の通りとした。

【熱処理A】先に述べたものと同様である。

【熱処理J】温度900~950℃で、2~4時間。吸熱形ガス雰囲気中でエンリッチガス0.3~0.7%、アンモニアガス3~10%の条件で浸炭窒化を行い、そのままダイレクトに焼入れを行い、次いで160~200℃で2時間の焼戻しを行った。

【0112】【熱処理K】温度900~950℃で、5~7時間。吸熱形ガス雰囲気中でエンリッチガス0.3~0.7%、アンモニアガス3~10%の条件で浸炭窒化を行い、そのままダイレクトに焼入れを行い、次いで160~200℃で2時間の焼戻しを行った。

【0113】【熱処理L】温度830~860℃で0.5~1時間保持した後焼入れを行い、次いで160~200℃で2時間の焼戻しを行った。

【熱処理M】温度930~960℃で5~7時間の通常浸炭処理を行い、そのまま直接に焼入れを行い、次いで160~200℃で2時間の焼戻しを行った。

【0114】本発明の転動体に行った熱処理は上記の【熱処理A】である。【摩耗試験条件】は次の通りとした。

試験軸受：円錐ころ軸受(HR30307C)

固定輪：外輪

加重：アキシャル加重=4900N

回転数：500rpm

潤滑：タービン油(ISO VG32)

混入異物：

組成：Fe, C

硬さ：HRC52

粒径：20~50 $\mu\text{m}$ 

混入量：潤滑油中に200ppm

円錐ころ軸受の内輪大つば面と端面のすべり摩耗試験を、加重はアキシャル方向だけで全周均等に負荷して行った。100000回転後に、内輪は大つば面の形状を測定し、初期形状を重ね合わせて摩耗面積を計算し、ころとの接触長さから摩耗体積を換算した。ころは全重量を測定して初期重量との差から摩耗量を測定した。評



価は、摩耗量をすべり距離で割った値である摩耗率によった。

【0115】図6に内輪材料と転動体材料のC r含有量の差と内輪大つば面の摩耗率との関係を示した。内輪大つば面の摩耗率はC r含有量の差が0.2重量%以上になると低下して良好な耐摩耗性を示した。〔寿命試験条件〕は次の通りとした。

試験軸受：円錐ころ軸受（L44649／610R）

固定輪：外輪

加重：ラジアル 加重＝12000N

アキシャル加重＝3500N

回転数：500rpm

潤滑：タービン油（ISO VG32）

混入異物：

組成：Fe, C

硬さ：HRC52

粒径：74～147μm

混入量：潤滑油中に200ppm

表8に、転動体と内外輪との鋼種、熱処理条件の組合せ

を示し、表9に寿命試験及び摩耗試験の結果を示す。

【0116】

【表8】

|             | 軸受<br>No. | 転動体<br>No. | 鋼種     | 熱処理<br>条件 | C<br>量% | N<br>量% | 内外輪<br>No. | 鋼 種     | 熱処理<br>条件 | C<br>量% | N<br>量% |
|-------------|-----------|------------|--------|-----------|---------|---------|------------|---------|-----------|---------|---------|
| 実<br>施<br>例 | 21        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 30         | SCR440  | J         | 0.92    | 0.23    |
|             | 22        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 31         | SCR440  | M         | 0.97    | 0       |
|             | 23        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 32         | SCR420  | K         | 0.89    | 0.26    |
|             | 24        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 33         | SCR420  | M         | 0.94    | 0       |
|             | 25        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 36         | SAE5140 | J         | 0.94    | 0.21    |
|             | 26        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 37         | SAE5140 | M         | 0.99    | 0       |
|             | 27        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 38         | SUJ2    | L         | 1.00    | 0       |
|             | 28        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 39         | SUJ2    | A         | 1.16    | 0.29    |
|             | 29        | 2          | C2     | A         | 0.98    | 0.19    | 30         | SCR440  | J         | 0.92    | 0.23    |
|             | 30        | 2          | C2     | A         | 0.98    | 0.19    | 31         | SCR440  | M         | 0.97    | 0       |
|             | 31        | 2          | C2     | A         | 0.98    | 0.19    | 34         | SAE4120 | K         | 0.86    | 0.24    |
|             | 32        | 2          | C2     | A         | 0.98    | 0.19    | 35         | SAE4120 | M         | 0.91    | 0       |
|             | 33        | 2          | C2     | A         | 0.98    | 0.19    | 36         | SAE5140 | J         | 0.94    | 0.21    |
|             | 34        | 2          | C2     | A         | 0.98    | 0.19    | 37         | SAE5140 | M         | 0.99    | 0       |
| 比<br>較<br>例 | 35        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 34         | SAE4120 | K         | 0.86    | 0.24    |
|             | 36        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 35         | SAE4120 | M         | 0.91    | 0       |
|             | 37        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 40         | S53CG   | J         | 0.91    | 0.19    |
|             | 38        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 41         | S53CG   | M         | 0.98    | 0       |
|             | 39        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 42         | EX1     | K         | 0.86    | 0.35    |
|             | 40        | 1          | C1     | A         | 0.86    | 0.23    | 43         | EX1     | M         | 0.96    | 0       |
|             | 41        | 2          | C2     | A         | 0.98    | 0.19    | 40         | S53CG   | J         | 0.91    | 0.19    |
|             | 42        | 2          | C2     | A         | 0.98    | 0.19    | 41         | S53CG   | M         | 0.98    | 0       |
|             | 43        | 3          | C1     | L         | 0.75    | 0       | 30         | SCR440  | J         | 0.92    | 0.23    |
|             | 44        | 3          | C1     | L         | 0.75    | 0       | 31         | SCR440  | M         | 0.97    | 0       |
|             | 45        | 4          | C3     | A         | 0.81    | 0.23    | 30         | SCR440  | J         | 0.92    | 0.23    |
|             | 46        | 4          | C3     | A         | 0.81    | 0.23    | 31         | SCR440  | M         | 0.97    | 0       |
|             | 47        | 5          | C5     | A         | 0.96    | 0.21    | 30         | SCR440  | J         | 0.92    | 0.23    |
|             | 48        | 5          | C5     | A         | 0.96    | 0.21    | 32         | SCR420  | K         | 0.89    | 0.26    |
|             | 49        | 6          | C7     | A         | 0.97    | 0.20    | 30         | SCR440  | J         | 0.92    | 0.23    |
|             | 50        | 7          | SCR440 | J         | 0.98    | 0.23    | 30         | SCR440  | J         | 0.92    | 0.23    |
|             | 51        | 8          | SCR440 | M         | 0.97    | 0       | 31         | SCR440  | M         | 0.97    | 0       |
|             | 52        | 9          | SUJ2   | L         | 1.00    | 0       | 38         | SUJ2    | L         | 1.00    | 0       |

|             | 軸受<br>No. | 内外輪<br>No. | C r 量の差<br>(%) | L <sub>10</sub> 寿命<br>(時間) | 転動体摩耗率<br>( $\times 10^{-6}$ g/m) | 内輪大つば面摩耗率<br>( $\times 10^{-6}$ g/m) |
|-------------|-----------|------------|----------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 実<br>施<br>例 | 2 1       | 3 0        | 0.60           | 35.5                       | 0.85                              | 0.92                                 |
|             | 2 2       | 3 1        | 0.60           | 19.7                       | 0.96                              | 1.00                                 |
|             | 2 3       | 3 2        | 0.57           | 34.6                       | 0.83                              | 0.98                                 |
|             | 2 4       | 3 3        | 0.57           | 18.5                       | 0.92                              | 1.03                                 |
|             | 2 5       | 3 6        | 0.35           | 34.8                       | 0.82                              | 1.23                                 |
|             | 2 6       | 3 7        | 0.35           | 20.1                       | 0.95                              | 1.48                                 |
|             | 2 7       | 3 8        | 1.01           | 17.8                       | 1.02                              | 1.15                                 |
|             | 2 8       | 3 9        | 1.01           | 35.8                       | 0.79                              | 0.82                                 |
|             | 2 9       | 3 0        | 0.77           | 32.3                       | 0.85                              | 0.87                                 |
|             | 3 0       | 3 1        | 0.77           | 19.7                       | 0.92                              | 0.97                                 |
|             | 3 1       | 3 4        | 0.24           | 31.6                       | 0.84                              | 1.73                                 |
|             | 3 2       | 3 5        | 0.24           | 18.6                       | 0.97                              | 1.85                                 |
|             | 3 3       | 3 6        | 0.52           | 35.4                       | 0.84                              | 1.15                                 |
|             | 3 4       | 3 7        | 0.52           | 19.7                       | 0.98                              | 1.26                                 |
| 比<br>較<br>例 | 3 5       | 3 4        | 0.07           | 22.3                       | 1.25                              | 3.26                                 |
|             | 3 6       | 3 5        | 0.07           | 9.5                        | 1.36                              | 3.56                                 |
|             | 3 7       | 4 0        | -0.40          | 11.6                       | 1.28                              | 4.23                                 |
|             | 3 8       | 4 1        | -0.40          | 8.7                        | 1.31                              | 4.45                                 |
|             | 3 9       | 4 2        | 2.35           | 5.2                        | 3.35                              | 0.68                                 |
|             | 4 0       | 4 3        | 2.35           | 7.3                        | 3.17                              | 0.95                                 |
|             | 4 1       | 3 0        | -0.23          | 8.9                        | 1.02                              | 4.15                                 |
|             | 4 2       | 3 1        | -0.23          | 6.5                        | 0.98                              | 4.29                                 |
|             | 4 3       | 3 0        | 0.60           | 8.6                        | 2.89                              | 1.15                                 |
|             | 4 4       | 3 1        | 0.60           | 7.1                        | 2.68                              | 1.28                                 |
|             | 4 5       | 3 0        | 0.57           | 8.8                        | 1.12                              | 1.19                                 |
|             | 4 6       | 3 1        | 0.57           | 5.3                        | 1.09                              | 1.30                                 |
|             | 4 7       | 3 0        | 0.49           | 7.8                        | 1.16                              | 1.34                                 |
|             | 4 8       | 3 2        | 0.46           | 6.9                        | 1.16                              | 1.38                                 |
|             | 4 9       | 3 0        | 1.00           | 7.3                        | 2.15                              | 1.23                                 |
|             | 5 0       | 3 0        | 0              | 25.1                       | 2.29                              | 3.18                                 |
|             | 5 1       | 3 1        | 0              | 9.3                        | 3.26                              | 3.38                                 |
|             | 5 2       | 3 8        | 0              | 6.5                        | 4.45                              | 4.12                                 |

【0118】本発明ころよりC r 含有量が0.2重量%以上多い内外輪を組み合わせた場合、転動体及び内輪大つば面は優れた摩耗特性を示し、軸受寿命も長寿命が得られた。ここで、実施例の軸受No. 22, 24, 26, 30, 32, 34は内外輪が浸炭処理(M)のため、浸炭窒化処理(J, K)したものより寿命が低下しているが、転動体、内外輪とも浸炭処理同士を組み合わせた比較例No. 51に対しては格段に寿命が延びている。

【0119】また、軸受No. 27は通常焼入れのSUJ2と組み合わせたため、同様に浸炭窒化処理品より寿命が低下しているが、SUJ2同士で組み合わせた比較例に対して格段に寿命が延びている。内外輪の熱処理が

通常焼入れでよい点などコストも含め総合的に評価するとこの実施例も好ましい例であるといえる。一方、比較例については、軸受No. 35, 50は浸炭窒化同士の組合せで寿命は延びているが、内外輪のC r 含有量から転動体のそれを差し引いた値が0.2重量%未満のため内輪の摩耗率が悪い。

【0120】軸受No. 36は内輪の摩耗率が悪く、さらに内外輪が浸炭仕様のため適量の $\gamma_s$ が得られず寿命も延びない。軸受No. 37, 38, 41, 42は内輪の摩耗率が悪く、さらに内外輪が低C r 材のため十分な表面硬さが得られず寿命が延びない。軸受No. 39, 40は、内外輪のC r 含有量から転動体のそれを差し引いた値が2.0重量%を越えているため、ころが摩耗し

てしまい、軸受寿命も延びない。

【0121】軸受No. 43, 44は、ころが通常焼入れのため、ころの耐磨耗性が悪く寿命も延びない。軸受No. 45, 46は転動体の素材のC量が低くて短時間の浸炭窒化処理では十分な硬化層深さ得られず、軸受No. 47, 48は転動体の素材のMn量が低くて適量の $\gamma_r$ が得られず、また軸受No. 49は転動体の素材のCr量がひくくて、いずれも軸受寿命が低下している。

【0122】軸受No. 51, 52は同鋼種の組合せのため転動体、内外輪とも摩耗率が悪く、浸炭窒化ではないので適量の $\gamma_r$ が得られず軸受寿命が低下してしまう。以上のように、本発明の第2の目的を達成するもので特に耐磨耗性を必要とする種類の転がり軸受は、低コ\*

\* ストの材料を浸炭窒化して耐磨耗性を付与した転動体を用いることにより、内輪または外輪の耐磨耗性をも向上させ、異物混入潤滑下で長寿命な軸受を提供することができるものである。また、円錐ころ軸受内輪大つば面の耐磨耗のみならず、転がりとすべりを同時に受ける円錐ころ軸受の内外輪軌道面や円筒ころ、球面ころ軸受の軌道面またはつば面等でも同様に優れた耐磨耗性を示し、長寿命な軸受を提供することができるものである。

【0123】(B) 続いて、本発明の第3の目的に係る発明の実施例を説明する。本発明の第3の目的に係る発明の実施例の合金組成を表10に示す。

【0124】

【表10】

| 鋼種  | C<br>(重量%) | Si<br>(重量%) | Mn<br>(重量%) | Cr<br>(重量%) | Mo<br>(重量%) | V<br>(重量%) | Ni<br>(重量%) | 備考  |
|-----|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-----|
| M1  | 0.4        | 0.3         | 0.8         | 1.5         | —           | —          | —           | 実施例 |
| M2  | 0.2        | 0.2         | 0.5         | 1.2         | 1.0         | —          | —           | 実施例 |
| M3  | 0.8        | 0.2         | 0.5         | 1.5         | —           | 1.0        | —           | 実施例 |
| M4  | 0.2        | 0.8         | 0.4         | 0.8         | —           | —          | 1.5         | 実施例 |
| M5  | 0.2        | 0.4         | 1.0         | 0.8         | 3.0         | —          | —           | 実施例 |
| M6  | 0.4        | 0.3         | 0.8         | 1.0         | —           | 2.0        | —           | 実施例 |
| M7  | 0.5        | 0.3         | 1.5         | 0.5         | —           | —          | —           | 実施例 |
| M8  | 0.3        | 1.5         | 0.4         | 1.2         | 0.8         | —          | —           | 実施例 |
| M9  | 0.4        | 0.2         | 0.8         | 3.0         | 0.5         | 0.5        | —           | 実施例 |
| M10 | 0.4        | 0.3         | 0.8         | 0.3         | —           | —          | —           | 比較例 |
| M11 | 1.0        | 0.3         | 0.2         | 1.5         | —           | —          | —           | 従来例 |
| M12 | 0.2        | 0.3         | 0.8         | 1.1         | —           | —          | —           | 従来例 |

【0125】従来例M11はJIS鋼種SUJ2であり、従来例M12はJIS鋼種SCR420である。熱処理については、本発明例および比較例の浸炭窒化処理には、850～900℃で1～8時間の範囲の適宜の条件で浸炭窒化を行った後820～880℃で二次焼入れを施し、180℃で2時間の焼戻しを行った。また、従来例SUJ2には840℃で焼入れを行った後180

℃で2時間の焼戻しを行い、SCR420には930℃で4時間浸炭を行った後860℃で二次焼入れを行い、180℃で2時間の焼戻しを行って実験に供した。表11に、供試片の熱処理品質、寿命試験結果および磨耗試験の結果を示す。

【0126】

【表11】

| 供試片 | 鋼種  | 表面炭素濃度重量% | 表面窒素濃度重量% | L10寿命<br>( $\times 10^6$ 回/片) | 磨 耗 率<br>( $\times 10^{-6}$ g/m) | 備 考 |
|-----|-----|-----------|-----------|-------------------------------|----------------------------------|-----|
| T1  | M1  | 0.92      | 0.43      | 17.3                          | 0.80                             | 実施例 |
| T2  | M2  | 0.91      | 0.48      | 21.2                          | 0.84                             | 実施例 |
| T3  | M3  | 1.21      | 0.32      | 19.3                          | 0.82                             | 実施例 |
| T4  | M4  | 0.82      | 0.35      | 18.5                          | 0.91                             | 実施例 |
| T5  | M5  | 1.10      | 0.58      | 22.2                          | 0.78                             | 実施例 |
| T6  | M6  | 1.35      | 0.31      | 20.4                          | 0.75                             | 実施例 |
| T7  | M7  | 0.95      | 0.43      | 18.1                          | 0.81                             | 実施例 |
| T8  | M8  | 0.85      | 0.30      | 21.8                          | 0.92                             | 実施例 |
| T9  | M9  | 1.48      | 0.68      | 24.1                          | 0.76                             | 実施例 |
| T10 | M10 | 0.91      | 0.43      | 8.1                           | 0.88                             | 比較例 |
| T11 | M1  | 0.83      | 0.15      | 7.2                           | 4.31                             | 比較例 |
| T12 | M1  | 1.60      | 0.41      | 5.7                           | 0.85                             | 比較例 |
| T13 | M2  | 0.68      | 0.32      | 8.4                           | 1.03                             | 比較例 |
| T14 | M3  | 1.01      | 0.24      | 11.6                          | 3.11                             | 比較例 |
| T15 | M7  | 0.87      | 0.18      | 10.7                          | 4.16                             | 比較例 |
| T16 | M11 | 1.03      | —         | 2.4                           | 4.48                             | 比較例 |
| T17 | M12 | 0.85      | —         | 6.3                           | 4.28                             | 比較例 |

【0127】寿命試験は前記スラスト型試験機を用い、異物混入潤滑下で試験を行った。試験条件を以下に示す。

面 圧；4900MPa

回 転 数；1000rpm

潤 滑 油；#68タービン油

異物混入；SUS420J2鋼粉（硬さHRC52、粒径80～160 $\mu$ m）

異物混入量；300ppm

磨耗試験は図2に示すような二円筒式磨耗試験機を用いて行い、上下に対向させた一對の円筒10にそれぞれ供試片Sを装着して、上から荷重Pを負荷しながら互いに接触状態で逆方向に低速で回転させて両供試片Sの磨耗率（g/m）の平均値を求めるものである。特に、潤滑不良状態での磨耗特性を試験するべく、回転中は油膜が切れ易い低粘度の潤滑油を注ぐようにした。

【0128】その磨耗試験条件は次の通りとした。

荷 重；100kgf

回転数；10rpm

滑り率；30%

潤滑油；S10

油 温；60℃

供試片T1～T9は本発明の第3の目的に係る発明例であり、耐磨耗性および寿命ともに従来と比較して著しく向上している。供試片T10はCr添加量が下限未満の場合で、寿命の向上効果が不十分である。供試片T11、T14およびT15は、表面層窒素濃度が低すぎる場合の比較例であり、寿命、耐磨耗性ともに向上効果が不十分である。供試片T12は、表面炭素濃度が上限を

越えた場合の比較例であり、結晶粒界に粗大な網目状の炭化物が析出したため短寿命となっている。供試片T13は表面炭素濃度が下限未満の場合の比較例であり、寿命の向上効果が不十分である。

【0129】なお、本発明の第3の目的に係る発明については、最も負荷条件の厳しい固定輪（転がり軸受が内輪回転で使用される場合は外輪、外輪回転で使用される場合は内輪。）について適用すれば、他の内輪または外輪と転動体は従来のSUJ2、SCM420等を用いても、転がり軸受として必要な耐磨耗性および異物混入潤滑下での寿命が得られ、製品のコストを下げることができる。

【0130】（C）次に、本発明の第4の目的に係る発明すなわち高速、低荷重の条件下で異物混入潤滑下での転がり寿命に加えて耐磨耗性と低コストとを両立させる場合の実施例について説明する。

（1）軸受の合金鋼の材料成分と切削加工における工具寿命及び冷間型鍛造（据え込み加工）における型寿命との関係。

【0131】実施例と比較例の各鋼種について、工具寿命と型寿命を比較した。工具寿命試験の条件：

切 削 機 械：高速旋盤

工 具：P10（JIS B 4053）

切り込み速度：180～220m/sec

送り 量：0.2～0.3mm/rev

切り込み深さ：0.6～1.0mm

JIS B 4011のバイト切削試験法に従って上記条件で各試料を切削し、バイトの逃げ面磨耗量が0.2mmに達するまでを工具寿命とした。

## 【0132】型寿命試験の条件：

金 型：V30 (JIS B4053)

据え込み率：15～20%

加 工 性：毎分300～400個

潤 滑：磷酸亜鉛皮膜+潤滑油

各鋼種を上記条件で加工し、金型にクラックが発生した\*

\*り破損したりして加工後のワークに傷や変形が出るまでを金型寿命とし、それ迄に加工されたワークの数で金型寿命を示した。

【0133】それぞれの結果を表12に示す。

【0134】

【表12】

|             | 鋼種  | C<br>(%) | Si<br>(%) | Mn<br>(%) | Cr<br>(%) | 工具寿命<br>(分) | 金型寿命<br>(×10 <sup>3</sup> 個) |
|-------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|------------------------------|
| 実<br>例      | N1  | 0.34     | 0.45      | 1.46      | 0.15      | 136         | 224                          |
|             | N2  | 0.45     | 0.42      | 0.56      | 0.72      | 137         | 225                          |
|             | N3  | 0.54     | 0.43      | 0.87      | 0.45      | 133         | 223                          |
|             | N4  | 0.70     | 0.43      | 0.80      | 0.60      | 127         | 212                          |
|             | N5  | 0.85     | 0.45      | 0.75      | 0.24      | 126         | 211                          |
| 比<br>較<br>例 | N6  | 0.24     | 0.46      | 1.15      | 0.47      | 142         | 230                          |
|             | N7  | 0.46     | 0.49      | 1.16      | 0.87      | 128         | 218                          |
|             | N8  | 0.56     | 0.42      | 1.57      | 0.43      | 32          | 76                           |
|             | N9  | 0.80     | 0.45      | 0.43      | 0.09      | 129         | 220                          |
|             | N10 | 0.96     | 0.44      | 1.31      | 0.40      | 28          | 72                           |
|             | N11 | 0.44     | 0.43      | 0.64      | 0.92      | 117         | 206                          |
|             | N12 | 0.43     | 0.45      | 1.12      | 0.06      | 139         | 226                          |

【0135】本発明の転がり軸受の合金鋼においては、全ての鋼種について工具寿命、型寿命共に良質な結果が得られた。これに対して、比較例においては、N8及びN10はMn含有量あるいはC含有量が大きく、工具寿命、型寿命共に低下し、しかもコストアップが生じた。したがって、N8、N10については以下の熱処理実験を行わない。

【0136】(2) 軸受合金鋼の熱処理品質：表9における実施例と比較例の各合金鋼（ただし、N8、N10は除外）について、次のF、G、Hの各熱処理を施し、熱処理品質を評価した。

〔熱処理F〕：温度840～900℃で、1～4時間、吸熱形ガス雰囲気中にエンリッチガス及びアンモニアガスを加えて、残留アンモニアが少なくとも0.1体積%以上含まれる条件で浸炭窒化を行い、そのままダイレクトに焼入れを行うか、または一旦ダイレクトに焼入れた後830～860℃で30分間保持した後、二次焼入れを行い、引き続いて160～180℃で2時間の焼戻しを行う。

【0137】〔熱処理G〕：温度870～930℃で、1～4時間、吸熱形ガス雰囲気中にエンリッチガス及びアンモニアガスを加えて、残留アンモニアが0.1体積%未満の条件で浸炭窒化を行い、そのままダイレクトに焼入れを行うか、または一旦ダイレクトに焼入れた後830～860℃で30分間保持した後、二次焼入れを行い、引き続いて160～180℃で2時間の焼戻しを行う。

【0138】〔熱処理H〕温度930～960℃で、5～7時間、通常の浸炭処理を行った後、室温まで放冷し、次いで830～860℃で30分間保持した後、焼入れを行い、引き続いて160～180℃で2時間の焼戻しを行う。本実施例の合金鋼に行う熱処理は〔熱処理F〕であり、1～4時の短時間処理で十分な浸炭、浸炭深さが得られる。ほとんどの場合、ダイレクトに焼入れを行うのでコスト的に通常焼入れとほぼ同等となる。しかし、薄肉の軸受等においては焼入れ時の変形が非常に問題となるため、二次焼入れ又はプレスクエンチを施した方が変形が抑えられて不良率が減少し、研削コストも下がるのでコスト的にも有利になる場合もある。また、アンモニア分析計により、残留アンモニア量を少なくとも0.1体積%以上となるように管理しないと、完成品表面に十分な窒素が与えられない。処理温度が900℃を越えるとアンモニアガスの分解速度が速くなり、十分な量のアンモニアを残留させることが難しく、浸炭性が低下するだけでなく、更に結晶粒度の粗大化などにより靱性が低下して軸受としての機能が低下する。また、処理温度が840℃以下になると十分な硬化層深さを得るための熱処理時間が長くなり、コストアップにつながることから、処理温度は840℃以上900℃以下とした。

【0139】表13に、熱処理品質と異物混入潤滑下におけるスラスト寿命試験の結果（前記スラスト型試験機を使用）及び研削性、耐磨耗性を示す。また、図3及び図4にCr+Nと研削性及び耐磨耗性との関係を示し

30

40

50

た。なお、寿命試験、研削試験、磨耗試験の条件は以下の通りである。

**寿命試験の条件：**

面 圧：4900MPa

回転数：1000rpm

潤滑油：#68タービン油

混入異物：

組 成；Fe<sub>3</sub>C系粉

硬 さ；H<sub>1</sub>C52

粒 径；74~147μm

混入量；潤滑油中に300ppm

**研削試験の条件：**

砥 石：WA100

研削液：ソリュブルタイプ

砥石周速：2800~3000 m/min

試験には6206内輪を用い、上記条件でその内輪軌道面を砥石で研削し、砥石のドレスを行うまでに研削した

内輪個数を調査した。

**【0140】**

**磨耗試験の条件：**

試験機：二円筒式磨耗試験機（図2に示したもの）

荷 重：50 kgf

回転数：100rpm

滑り率：30%

潤滑油：S10

油 温：60℃

- 10 試験には同一鋼種の二個の円筒試験片を用いて上記の条件で行い、それぞれの重量減少量（磨耗量）を測定し、その平均値を用いて磨耗率で示した。

**【0141】**

**【表13】**



|             | No. | 鋼種  | 熱処理 | C<br>重量% | N<br>重量% | Cr<br>重量% | Cr+N<br>重量% | 研削個数<br>個 | 磨耗率<br>$\times 10^{-5}$ g/m | L10寿命<br>$10^4$ 時間 |
|-------------|-----|-----|-----|----------|----------|-----------|-------------|-----------|-----------------------------|--------------------|
| 実<br>施<br>例 | 1A  | N1  | F   | 0.93     | 0.30     | 0.15      | 0.45        | 27        | 0.41                        | 27.54              |
|             | 2A  | N5  | F   | 1.13     | 0.31     | 0.24      | 0.55        | 27        | 0.36                        | 24.89              |
|             | 3A  | N5  | F   | 1.03     | 0.41     | 0.24      | 0.65        | 26        | 0.32                        | 29.45              |
|             | 4A  | N3  | F   | 0.96     | 0.28     | 0.45      | 0.73        | 26        | 0.28                        | 25.67              |
|             | 5A  | N5  | F   | 0.98     | 0.56     | 0.24      | 0.80        | 26        | 0.27                        | 24.14              |
|             | 6A  | N4  | F   | 1.06     | 0.25     | 0.60      | 0.85        | 25        | 0.25                        | 28.29              |
|             | 7A  | N2  | F   | 0.92     | 0.23     | 0.72      | 0.95        | 24        | 0.21                        | 25.31              |
|             | 8A  | N1  | F   | 0.63     | 0.82     | 0.15      | 0.97        | 22        | 0.20                        | 28.21              |
| 比<br>較<br>例 | 9A  | N7  | F   | 0.92     | 0.21     | 0.87      | 1.08        | 6         | 0.20                        | 26.35              |
|             | 10A | N3  | F   | 0.84     | 0.60     | 0.45      | 1.05        | 7         | 0.20                        | 25.88              |
|             | 11A | N4  | F   | 0.93     | 0.53     | 0.60      | 1.13        | 6         | 0.19                        | 27.23              |
|             | 12A | N2  | F   | 0.87     | 0.46     | 0.72      | 1.18        | 5         | 0.20                        | 26.90              |
|             | 13A | N2  | F   | 0.83     | 0.54     | 0.72      | 1.26        | 5         | 0.19                        | 28.74              |
|             | 14A | N2  | F   | 0.76     | 0.79     | 0.72      | 1.51        | 5         | 0.18                        | 28.17              |
|             | 15A | N7  | F   | 0.76     | 0.80     | 0.87      | 1.67        | 4         | 0.17                        | 27.55              |
|             | 16A | N9  | F   | 1.07     | 0.34     | 0.09      | 0.43        | 27        | 1.64                        | 8.78               |
|             | 17A | N6  | F   | 0.55     | 0.25     | 0.47      | 0.72        | 26        | 0.42                        | 7.21               |
|             | 18A | N7  | H   | 1.09     | —        | 0.87      | 0.87        | 25        | 1.53                        | 9.75               |
|             | 19A | N1  | H   | 1.04     | —        | 0.15      | 0.15        | 29        | 1.91                        | 7.82               |
|             | 20A | N1  | G   | 0.93     | 0.09     | 0.15      | 0.24        | 28        | 1.80                        | 9.93               |
|             | 21A | N1  | G   | 0.85     | 0.15     | 0.15      | 0.30        | 27        | 1.76                        | 11.77              |
|             | 22A | N5  | G   | 1.21     | 0.12     | 0.24      | 0.36        | 27        | 1.61                        | 8.14               |
|             | 23A | N7  | G   | 0.98     | 0.10     | 0.87      | 0.97        | 18        | 1.15                        | 14.48              |
|             | 24A | N11 | G   | 0.99     | 0.09     | 0.92      | 1.01        | 15        | 0.91                        | 15.90              |
|             | 25A | N4  | F   | 1.23     | 0.29     | 0.60      | 0.89        | 25        | 0.71                        | 9.91               |
|             | 26A | N12 | F   | 0.61     | 0.92     | 0.06      | 0.98        | 8         | 0.21                        | 10.32              |
|             | 27A | N1  | F   | 0.95     | 0.22     | 0.15      | 0.37        | 28        | 1.60                        | 10.77              |

【0142】表13において、No. 1A～No. 8Aは実施例の合金鋼であるが、いずれも長寿命であり、耐磨耗性及び研削性も良好であるため、低コストな長寿命耐磨耗軸受を提供することができる。一方、比較例中のNo. 9A～No. 15AはCr+Nが1.0重量%を

【0143】また、No. 16AはMnやCrの含有量が最低必要とされる量に満たないために耐磨耗性及び寿命が改善されていない。No. 17Aは素材のC重量%が低いため短時間処理では十分な炭素が与えられず、 $\gamma_r$ が不足したために短寿命となった。No. 18A及びNo. 19Aは通常の浸炭例であるが、Nが含有されていないために耐磨耗性と寿命が改善されない。

【0144】No. 20A～No. 22AはCr+Nが

0.4重量%に満たない場合の比較例であり、十分な耐磨耗性が得られず、特にNo. 22Aにおいては表面近傍に必要以上の $\gamma_r$ が生じたために寿命も短くなった。No. 23A及びNo. 24は低N浸炭窒化の例であるが、Crの含有量が高く、Nの固溶量も十分でないために研削性と耐磨耗性の関係が改善されていない。

【0145】No. 25Aは研削個数及び耐磨耗性に関しては比較例中では比較的良好な結果が得られたものの、表面層の炭素量が多すぎることにより若干の初析（炭化物）が生じたため転がり寿命が低下した。No. 26Aは表面層の窒素量が多すぎため研削加工性が低下した。No. 27AはCr及び表面層の窒素量は個々には条件を満たしているものの、Cr+Nが下限値に満たないため耐磨耗性が改善されない。

【0146】(3) Cr+Nと研削性及び耐磨耗性：C

r + Nと研削性及び耐磨耗性との関係については、図3に示すように、Nを0.2重量%以上含有する場合、Crとの総含有量Cr + Nが1.0重量%を越えると研削性が急激に悪化する。一方、Cr + Nが0.4重量%未満になると図4に示すように耐磨耗性が著しく低下する。また、Cr + Nが0.4～1.0重量%の範囲内であっても、Nが0.2重量%以上含有されていない場合には、十分な耐磨耗性が得られない。

【0147】図5に、耐磨耗性と研削性との関係を示す。Cr含有量、表面層のNの含有量、またはこれらの和Cr + Nの少なくともいずれかが本発明の範囲外である比較例では、耐磨耗性が向上することによって研削性が低下する傾向にあるが、本発明例では研削性、耐磨耗性共に良好な結果が得られた。比較例No. 17Aおよび25Aは比較的本発明品に近い耐磨耗性及び研削性を示しているが、表面層の炭素量が本発明の範囲外のため前記のように転がり寿命が低下している。

【0148】よって、本発明の第4の目的に係る発明にあっては、Nを0.2重量%以上含有し、さらにCr + Nを0.4～1.0重量%の範囲にすることにより、研削性と耐磨耗性とが共にすぐれた低コストな転がり軸受を提供することが可能になる。なお、上記の全ての本発明は各種転がり軸受（玉軸受、円筒ころ軸受、円すいころ軸受、球面ころ軸受等。ラジアル型、スラスト型は問わない）に適用することができる。

#### 【0149】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明の請求項1の発明によれば、転がり軸受の内輪、外輪または転動体の表面層の残留オーステナイト量 $\gamma_R$ が適量でかつ硬さも十分なものが得られ、その結果、異物混入潤滑下での転がり寿命が向上するという効果が得られる。

【0150】また、本発明の第2の目的に係る発明によれば、要求される機能がそれぞれ異なっている転動体と内外輪との各々について、材料、加工および熱処理についての条件を定めて最適化を図った。すなわち、転動体については、その成分構成を重量%で、C；0.7%以上0.9%以下、Si；0.1%以上0.7%以下、Mn；0.5%以上1.1%以下、Cr；0.1%以上0.6%以下で、残部がFe及び不可避免的不純物のものとし、且つ当該成分組成の素材からなる線材を冷間型鍛造して成形したものを浸炭窒化処理し、さらに研削加工して、完成品表面層の炭素濃度が0.8%以上1.4%以下、窒素濃度が0.05%以上0.3%以下の転動体とした。一方、内外輪については、その成分構成を重量%で、C；0.3%以上0.6%以下、Si；0.1%以上0.7%以下、Mn；0.6%以上1.5%以下、Cr；0.1%以上0.6%以下を含有し、残部Fe及び不可避免的不純物のものとし、且つ当該成分組成の素材を旋削加工後に浸炭窒化処理し、さらに研削加工して、完成品表面層の炭素濃度が0.8%以上1.4%以下、窒素濃度が0.05%以上0.3%以下の内外輪とした。

そしてこれらの転動体と内外輪とを組み合わせる転がり軸受としたため、金型寿命や工具寿命が延長できて合金成分コストともども軸受製品全体としてのコストが低減でき、しかも異物混入潤滑下で長寿命を有するという従来より高機能の転がり軸受を提供することができるという効果を得ることができる。

【0151】また、上記第2の目的に係る発明において、転動体の成分構成は上記と全く同じとし、一方内外輪の成分構成はその転動体の合金鋼よりもCr含有量が0.2～2.0重量%多い合金鋼または浸炭鋼を用いて組み合わせる構成とした発明によれば、耐磨耗性の一層の向上がより低コストで得られて、異物混入潤滑下で長寿命を有する転がり軸受が安価に提供できるという効果が得られるのである。

【0152】更に、本発明の第3の目的に係る発明によれば、内輪、外輪および転動体の少なくとも一つが、その成分構成を重量%で、C；0.1%以上1.0%以下、Si；0.1%以上1.5%以下、Mn；0.1%以上1.5%以下、Cr；0.5%以上3.0%以下、Mo；3.0%以下、V；2.0%以下、Ni；2.0%以下で、残部がFe及び不可避免の不純物の合金鋼に、浸炭窒化処理を施し、その表面層の炭素濃度が0.8%以上1.5%以下、窒素濃度が0.3%以上0.7%以下であるものとしたため、非常に微細な炭化物、窒化物および炭窒化物の分散強化により耐磨耗性が著しく向上できて、その結果、長寿命でかつ耐磨耗性に優れた転がり軸受を安価に提供できるという効果が得られる。また、ラジアル型転がり軸受においては固定輪の負荷圈に磨耗が生じることが多いことに鑑み、内輪外輪のうちの固定輪となるものにのみ上記第3の目的に係る発明を適用し、回転輪となるものおよび転動体には従来の合金鋼を用いても十分な耐磨耗性を得ることができ、より安価に耐磨耗性に優れた長寿命の転がり軸受を提供することが可能である。

【0153】更にまた、本発明の第4の目的に係る発明によれば、内輪、外輪および転動体の少なくとも一つが、その成分構成を重量%で、C；0.3%以上0.9%以下、Si；0.1%以上0.7%以下、Mn；0.5%以上1.5%以下、Cr；0.1%以上0.8%以下で残部がFe及び不可避免の不純物の合金鋼に、浸炭窒化処理を施し、その後研削加工した後の表面層の炭素量が0.6%以上1.2%以下、窒素量が0.2%以上0.9%以下で、更に、Crと窒素の総含有量が0.4%以上1.0%以下とすることにより、特に高速、低荷重の条件下で耐磨耗性に優れ、かつ低コストであるとともに長寿命の転がり軸受を提供することができるという効果が得られる。

【0154】かくして、本発明の転がり軸受の成分組成を適宜に選択することにより、異物混入潤滑下で長寿命であることに加え、使用目的に応じて最適な転がり軸受を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 転がり軸受部材の表面窒素濃度と磨耗率との関係を表したグラフである。

【図2】 二円筒式磨耗試験機の概念図である。

【図3】 実施例と比較例におけるCrとNの総含有量と研削性との関係を表したグラフである。

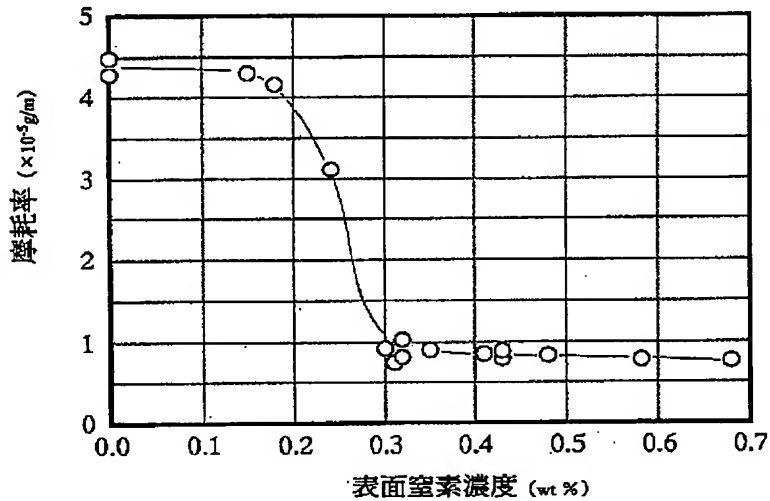
【図4】 実施例と比較例におけるCrとNの総含有量\*

\*と耐磨耗性との関係を表したグラフである。

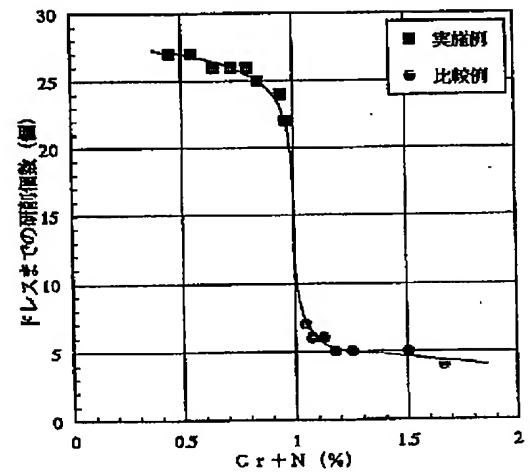
【図5】 実施例と比較例における耐磨耗性と研削性との関係を表したグラフである。

【図6】 内輪材料と転動体材料のCr含有量の差と内輪大つば面の磨耗率との関係を表したグラフである。

【図1】



【図3】



【図2】

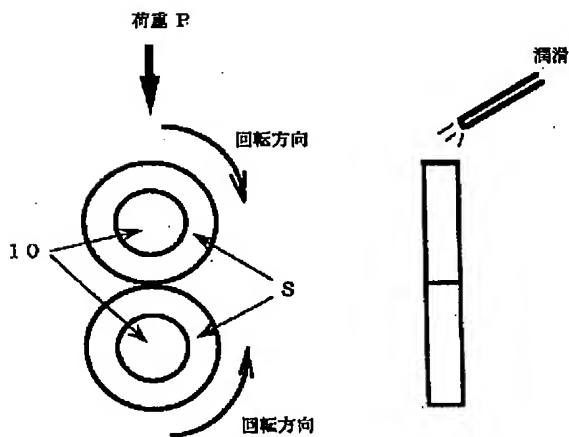
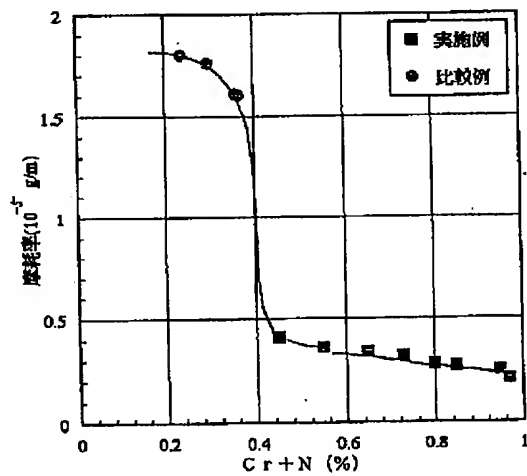
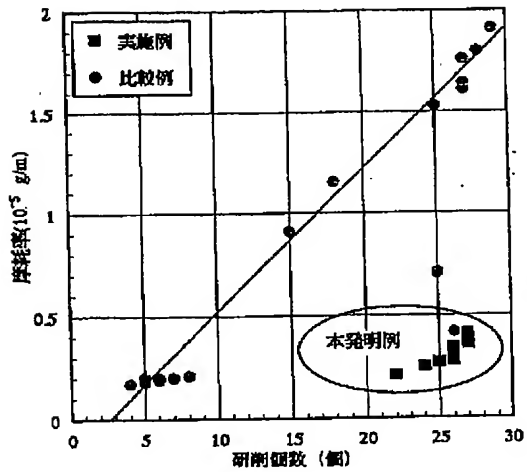


図2

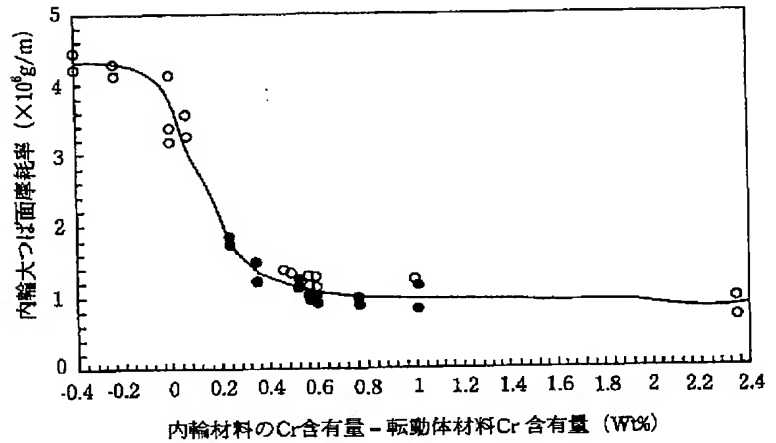
【図4】



【図5】



【図6】



【手続補正書】

【提出日】平成7年9月22日

【手続補正1】

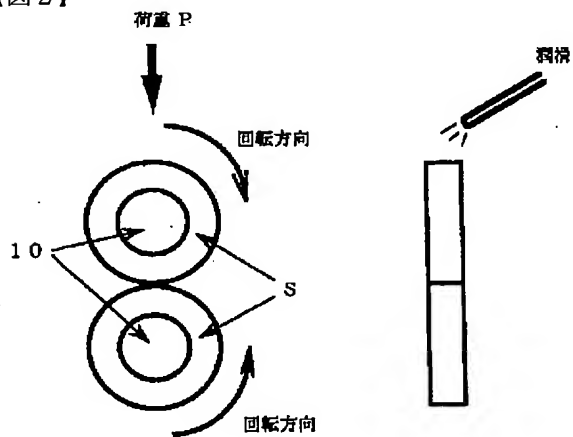
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図2

【補正方法】変更

【補正内容】

【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 山村 賢二  
神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号  
日本精工株式会社内

(72)発明者 大堀 學  
神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号  
日本精工株式会社内

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載  
 【部門区分】第3部門第4区分  
 【発行日】平成14年12月18日(2002.12.18)

【公開番号】特開平8-311603  
 【公開日】平成8年11月26日(1996.11.26)  
 【年通号数】公開特許公報8-3117  
 【出願番号】特願平7-242181  
 【国際特許分類第7版】

C22C 38/00 301  
 38/18  
 C23C 8/32  
 F16C 33/30  
 33/62

## 【F I】

C22C 38/00 301 H  
 38/18  
 C23C 8/32  
 F16C 33/30  
 33/62

## 【手続補正書】

【提出日】平成14年9月20日(2002.9.20)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 内輪、外輪または転動体が、  
 元素…… C : 0.1~1.0重量%  
 Si : 0.1~1.5重量%  
 Mn : 0.1~1.5重量%  
 Cr : 0.1~3.0重量%  
 を含有し残部Feおよび不可避不純物元素からなる合金  
 鋼で形成され、完成品表面層の炭素量および窒素量がそ  
 れぞれ

C : 0.6~1.5重量%  
 N : 0.05~0.9重量%  
 である転がり軸受。

【請求項2】 転動体が、

元素…… C : 0.7~0.9重量%  
 Si : 0.1~0.7重量%  
 Mn : 0.5~1.1重量%  
 Cr : 0.1~0.6重量%

を含有し残部Feおよび不可避不純物元素からなる合金  
 鋼で形成され、完成品表面層の炭素量および窒素量がそ  
 れぞれ、

C : 0.8~1.4重量%

N : 0.05~0.3重量%

であり、内外輪が、

元素…… C : 0.3~0.6重量%

Si : 0.1~0.7重量%

Mn : 0.6~1.5重量%

Cr : 0.1~0.6重量%

を含有し残部Feおよび不可避不純物元素からなる合金  
 鋼で形成され、完成品表面層の炭素量および窒素量がそ  
 れぞれ、

C : 0.8~1.4重量%

N : 0.05~0.3重量%

である転がり軸受。

【請求項3】 転動体が、

元素…… C : 0.7~0.9重量%

Si : 0.1~0.7重量%

Mn : 0.5~1.1重量%

Cr : 0.1~0.6重量%

を含有し残部Feおよび不可避不純物元素からなる合金  
 鋼で形成され、完成品表面層の炭素量および窒素量がそ  
 れぞれ、

C : 0.8~1.4重量%

N : 0.05~0.3重量%

であり、内輪及び外輪の少なくとも一つは、前記転動体  
 の合金鋼よりもCr含有量が0.2~2.0重量%多い  
 合金鋼または浸炭鋼を材料に用い、硬化熱処理を施した  
 ものであることを特徴とする転がり軸受。

【請求項4】 内輪、外輪および転動体の少なくとも一  
 つが、

C : 0.1~1.0重量%

Si : 0.1~1.5重量%

Mn : 0.1~1.5重量%

Cr : 0.5~3.0重量%

Mo : 3.0重量%以下

V : 2.0重量%以下

Ni : 2.0重量%以下

を含有し残部Feおよび不可避不純物元素からなる合金鋼で形成され、完成品表面層の炭素量および窒素量がそれぞれ

C : 0.8~1.5重量%

N : 0.3~0.7重量%

であることを特徴とする転がり軸受。

【請求項5】 内輪、外輪および転動体の少なくとも一

つが、

C : 0.3~0.9重量%

Si : 0.1~0.7重量%

Mn : 0.5~1.5重量%

Cr : 0.1~0.8重量%

を含有し残部Feおよび不可避不純物元素からなる合金鋼で形成され、完成品表面層の炭素量および窒素量がそれぞれ

C : 0.6~1.2重量%

N : 0.2~0.9重量%

であり、更に、Crと窒素の総含有量が、

Cr+N : 0.4~1.0重量%

であることを特徴とする転がり軸受。